



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

RAITIOVAUNUN OVIJÄRJESTELMÄN VIKOJEN KARTOITTAMINEN JA RATKAISUESITYSTEN LAATIMINEN

Shnoro Elisabet

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA

Diplomityö

Elokuu 2021

TIIVISTELMÄ

Raitiovaunun ovijärjestelmän vikojen kartoittaminen ja ratkaisuesitysten laatiminen

Elisabet Shnoro

Oulun yliopisto, konetekniikan tutkinto-ohjelma

Diplomityö 2021, 94 s.

Työn ohjaaja yliopistolla: Juhani Niskanen

Tässä työssä kartoitetaan Škoda Transtech Oy:n raitiovaunun ovijärjestelmien vikoja ja tarjotaan erilaisia ratkaisuesityksiä niille. Tutkimuksessa on käytetty taustamateriaalina uutisia ja tutkimuksia eri kiskokalustojen ovijärjestelmistä. Lisäksi haastateltiin raitiovaunujen parissa työskenteleviä henkilöitä, tutkittiin Transtechin omaa materiaalia ja tehtiin nostotesti, jonka avulla seurattiin ovien liikkumasta raitiovaunun runkoon nähdessä.

Tulokset osoittavat, että ovivikojen syntyyn vaikuttavat etenkin vääränlaiset asennukset ja ovijärjestelmien toimittajan huonolaatuinen materiaali. Lisäksi kulumiset, inhimilliset virheet ja vääränlainen käyttö lisäävät vikojen määrää. Transtechin tämän hetkinen vikaraportointi on suhteellisen kömpelö, mikä vaikeuttaa oikeanlaisen ja nopean puuttumisen vikoihin, mikä taas laskee esimerkiksi sopimuksissa sovittavaa MDBF-arvoa.

Työn lopussa suositellaan tehokkaampaa vikaraportointijärjestelmää. Tämän lisäksi suositellaan pitämään aikataulut sellaisina, jotka mahdollistavat laadukkaan asennuksen. Suosituksena neuvotaan myös pitämään raitiovaunun parissa työskentelevien taitotaso mahdollisimman korkealla.

Asiasanat: raitiovaunu, ovijärjestelmä, vikaraportointi, MDBF

ABSTRACT

Mapping faults of the tram door system and preparation of solutions

Elisabet Shnoro

University of Oulu, Degree Programme of Mechanical Engineering

Master's thesis 2021, 94 pp.

Supervisor at the university: Juhani Niskanen

The main aim is mapping faults of the tram door system and offering various solutions to them in this thesis. News and studies of the door systems of various rail vehicles have been used as background material in this study. In addition people working with trams were interviewed, Transtech's material was examined and lifting test was performed to monitor the movement of the doors relative to the tram frame.

The results show faults of the door system have arisen mainly due to incorrect installations and poor material quality from the supplier of the door system. Also wearing, human error and misuse increase the number of faults. Transtech's current fault reporting is clumsy which makes it difficult to react on faults correctly and quickly, which in turn lowers the MDBF value that is agreed in the contracts.

At the end of the work a more efficient fault reporting system is recommended. In addition to this it is recommended to keep the schedules in a way that allows high quality installation. It is also advised to keep the skill level of those working with the tram as high as possible.

Keywords: tram, door system, fault reporting, MDBF

ALKUSANAT

Tämän työn tehtävänä on paneutua Škoda Transtech Oy:n raitiovaunujen ovijärjestelmien vikoihin selvittäen yleisempien vikojen juurisyitä, ja samalla tuottaa mahdollisia ratkaisuesityksiä niihin. Työ on tehty vuonna 2021, aloitettu helmikuussa ja saatettu loppuun elokuun puoliväliin mennessä.

Alkuun tahdon esittää kiitokseni, joista ensimmäiset osoitan isälleni, jonka ansiosta olen löytänyt itseni tältä tekniikan polulta herättämällä kiinnostukseni jo lapsesta asti kaikkeen mahdolliseen tekniikkaan. Heti perään kiitokset myös äidilleni, joka on kannustanut tekemään kaikkea, mihin mielenkiinto riittää. Kiitokseni ansaitsee myös kihlattuni, Lasse Lehtonen, joka on jaksanut naurattaa diplomityön lomassa, mutta samalla saanut minut pohtimaan työn aihetta monelta eri näkökulmasta. Iso kiitos työnohjaajilleni Transtechin puolella, Pasi Lämsälle ja Jouko Knuutille, ja tietysti kiitos Juhani Niskaselle, joka ohjasi työn yliopiston puolelta. Lopuksi tietysti kiitän opiskelukavereitani, joiden ansiosta yliopistoaika on ollut loistava kokemus, ja yliopiston henkilökuntaa, jonka ansiosta tähän pisteeseen olenkin päässyt.

Itseltäni löytyy työkokemusta Transtechilta, sillä toimin marraskuusta 2019 joulukuuhun 2020 varaosakuvittajana Transtechilla. Näin ollen yrityksen toiminta, sovellukset ja raitiovaunujen toimintaperiaatteet ovat ehtineet tulla jo tutuksi ennen diplomityön aloitusta. On myös hienoa päästä työskentelemään yrityksessä, jonka tehtaan vieressä olen asunut lapsuuteni, ja jossa isäni on myös työskennellyt.

Oulu, 12.8.2021

Elisabet Shnoro
Elisabet Shnoro

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
ALKUSANAT	4
SISÄLLYSLUETTELO	5
MERKINNÄT JA LYHENTEET	7
1 Johdanto	8
1.1 Škoda Transtech Oy	8
1.2 Ohjelmistot	9
1.3 Tutkimukseen liittyvät raitiovaunut	9
1.4 Ovivikojen merkitys	10
1.5 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkintamenetelmä	10
2 Teoriaosuus	12
2.1 Tutkimuksen tarve	12
2.2 ECR- ja ECO-prosessi	12
2.3 Aiemmat tutkimukset aiheesta	15
2.4 Raitiovaunujen laajempi esittely	17
2.4.1 Artic	17
2.4.2 Jokeri	19
2.4.3 Tamsa	20
2.5 Standardit	22
2.5.1 Standardi EN 14752	22
2.5.2 Muita standardeja	26
2.6 Ovijärjestelmät	28
2.6.1 Ovijärjestelmän toiminta yleisesti	28
2.6.2 Ultimate	29
2.6.3 Ultimaten asennus	36
2.6.4 Tamware	39
2.6.5 Tamwaren asennus	44
2.7 MDBF-arvo	46
2.7.1 MTBF- ja MDBF-katsaus Articissa	47
3 Ovijärjestelmän vikojen tutkiminen	50

3.1 Aineisto	50
3.2 Ensimmäinen testi Otanmäen tehtaalla	51
3.3 Toinen tehdasvierailu	55
3.4 Ovijärjestelmien vikadata.....	58
3.4.1 Vikailmoitukset.....	59
3.4.2 Vikojen jakautuminen vaunuittain.....	67
3.4.3 Materiaalin vaihdot	71
3.4.4 Toistuvat viat	74
3.4.5 Kehityskohteita	76
3.4.6 Leanin ongelmakohdat.....	77
4 Ehdotus Vikojen raportointiin.....	80
4.1 Raportointimenetelmä	80
4.2 Raportointiohjeet.....	81
5 Tulosten tarkastelu	83
6 Johtopäätökset ja suositukset	85
6.1 Johtopäätökset.....	85
6.2 Suositukset	86
7 Yhteenveto	89
LÄHDELUETTELO.....	91

MERKINNÄT JA LYHENTEET

DCU	oviohjausyksikkö (door control unit)
ECO	muutostilaus (engineering change order)
ECR	muutospyyntö (engineering change request)
EMC	sähkömagneettinen yhteensopivuus (electromagnetic compatibility)
HKL	Helsingin kaupungin liikennelaitos
MDBF	keskimääräinen matka vikojen välillä (mean distance between failures)
MTBF	keskimääräinen aika vikojen välillä (mean time between failures)
SSIL	ohjelmiston turvallisuuden eheystaso (software safety integrity level)

1 JOHDANTO

Tässä työssä käsitellään Škoda Transtech Oy:n Artic-raitiovaunun ovijärjestelmien vikojen kartoittamista ja mahdollisia ratkaisuesityksiä. Käsiteltävänä on kolme eri raitiovaunua: Artic, Jokeri ja Tampereen raitiovaunu. Tässä osuudessa esitellään pääpiirteittäin Škoda Transtech Oy yrityksenä, tutkimuksen kannalta tärkeät ohjelmistot, tutkimukseen liittyvät raitiovaunut, ovivikojen merkitys, vikojen raportoinnin tärkeys, tutkimuksen tavoitteet ja tutkimusmenetelmä.

1.1 Škoda Transtech Oy

Škoda Transtech Oy:n omilta Internet-sivuilta löytyy historiasivut (2020), jotka kertovat Transtechin taipaleen lähteneen liikkeelle vuonna 1985 Rautaruukin toimesta. Tällöin yritys aloitti tavaravaunujen valmistuksen Otanmäessä ja Taivalkoskella. Transtechiin yhdistettiin Valmetin henkilöliikennekaluston ja vetureiden tuotantoon erikoistunut Tampereen kiskokalustotehdas vuonna 1991. Transtech siirtyi Patentes Talgon omistamalle Talgo Oy:lle vuonna 1999, jolloin tehtaan nimi vaihdettiin Talgoksi. Transtech-nimi palasi kuitenkin takaisin vuonna 2007, sillä Talgo Oy:n osakekanta muutti omistajaansa suomalaiseksi omistajaryhmäksi. Škoda ilmestyi 2015 osaksi Transtechin nimeä, sillä osake-enemmistö siirtyi tšekkiläiselle Škoda Transportationille. Näin Transtechin asema vahvistui kiskokalustomarkkinoiden vientimarkkinoilla.

Tässä työssä käytetään jatkossa Škoda Transtech Oy:n nimenä pelkkää Transtechia. Yleensä puhekielessä ihmiset sanovat Škoda tai Transtech. Itselle jälkimmäinen valinta on luontevampi, sillä olen varttunut Transtechin tehtaan vieressä, ja tämä nimi on tutumpi itselle.

Škoda Transtechin yrityssivut (2020) kertovat, että Transtechin pääpaino on kaksikerroksissa matkustajavaunuissa ja matalalattiaraitiovaunujen valmistuksessa. Transtech tuottaa myös valmistamiensa tuotteiden huoltotoimintoja Helsingin ja Tampereen varikoilla. Tehtaalla valmistetaan myös konepajatuotteita.

1.2 Ohjelmistot

Tutkimukseen liittyy tärkeästi kaksi ohjelmistoa, jotka ovat käytössä Transtechilla. Nämä ovat Sovelia ja Lean.

Sovelia on tuotteen elinkaariohjelmisto (PLM-ohjelmisto), jonka avulla voidaan hallita tuotteen elinkaareen liittyviä prosesseja, jotka ovat esimerkiksi suunnittelu, tuotanto ja huolto. Soveliasta löytyy esimerkiksi sopimukset, kokousten pöytäkirjat, osapiirustukset ja muut vastaavat dokumentit. Sovelia on toiminnassa jokaisessa yrityksen yksikössä, joten sieltä löytyy kootusti kaikki oleellinen. Esimerkiksi vikadataan liittyvien kokousten pöytäkirjat ovat kaikilla löydettävissä.

Lean on taas toiminnohjausjärjestelmä, joka ei ole yhtä laajassa käytössä Transtechilla kuin Sovelia. Sieltä kautta kuitenkin voidaan hallita muun muassa projekteja, materiaaleja, huoltoa ja kunnossapitoa. Tämän tutkimuksen osalta Lean on tärkeässä osassa etenkin vikadiagnostiikan osalta, sillä sinne kootaan eri projektien vikadata kattavasti.

1.3 Tutkimukseen liittyvät raitiovaunut

Työ käsittelee kolmea eri raitiovaunumallia, jotka ovat Helsinki ForCity X34 (Artic), ForCity Smart Artic X54 (Jokeri) ja Smart Artic X34 (Tamsa). Suluissa olevat nimet ovat yleisessä käytössä olevat nimet ja niitä käytetään tästä eteenpäin tässä tutkimuksessa. Artic ja Jokeri toimivat Helsingissä ja Tamsa on valmistettu Tampereelle tamperelaisten tarpeisiin. Jokainen näistä raitiovaunuista on matalalattiaraitiovaunuja, mikä tekee vaunuista mahdollisimman esteettömiä. Työssä käytetään koko raitiovaunusta termiä vaunu, joka on alalla yleisessä käytössä. Työssä käsiteltävät raitiovaunut koostuvat kolmesta tai viidestä moduulista. On tärkeä huomata, että yleisessä puhekielessä vaunulla tarkoitetaan juuri näitä moduuleita.

Articin ja Jokerin ovijärjestelmän toimittajana toimii itävaltalainen Ultimate, ja Tamsan ovijärjestelmäksi on valikoitunut tamperelainen Tamware. Näiden ovijärjestelmien väliltä löytyy eroavaisuuksia, joita käsitellään työn kohdassa 2.6. Itse tutkimus painottuu

enemmän Ultimaten ovijärjestelmään, joka on ollut Articin myötä pidempään käytössä kuin Tamsan Tamware. Täten Ultimatesta on kerätty laajemmin vikadataa. Tamsa on kuitenkin sen verran uusi tulokas, ettei dataa ole juurikaan kerätty - varsinainen matkustajaliikennöinti alkoi vasta 9.8.2021. On kuitenkin tärkeää käsitellä kyseisen raitiovaunun ovijärjestelmää, jotta saadaan tietoa kattavasti ja monipuolisesti, mahdollisuuksien mukaan voidaan löytää toimivampia toimintamalleja.

1.4 Ovivikojen merkitys

Oviviati ovat suhteellisen yleinen vika Transtechin raitiovaunuissa, esimerkiksi 2019-2020 aikana Artic-raitiovaunu jouduttiin poistamaan käytöstä jopa 33 kertaa ovivikojen takia. Ovivika voi aiheuttaa raitiovaunun poistamisen ajosta, viivästymisiä ja matkustajille hankalampaa raitiovaunun käyttöä. Ei tule unohtaa, että oviviati voivat aiheuttaa myös vaaratilanteita, joista on maininta kohdassa 2.3.

Ovivikojen merkitys näkyy myös hankintasopimuksissa. Esimerkiksi Artic-raitiovaunun sopimuksessa on sovittu, että ovijärjestelmän MDBF-arvo (Mean Distance Between Failure eli keskimääräinen matka vikojen välillä) tulisi olla X kilometriä, mutta tämä arvo on todellisuudessa tällä hetkellä noin viidesosa tästä arvosta. Tämä on huolestuttava ero, jolla on vaikutuksia niin Transtechin maineeseen, luotettavuuteen, että tuleviin sopimuksiin. Oviviati avataan laajemmin kohdassa 3.4.

1.5 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkintamenetelmä

Tutkimuksen tavoitteena on saada laaja ja hyvä käsitys ovijärjestelmien vioista ja niiden juurisyistä, sekä samalla esittää korjausehdotuksia. Samalla tutkimuksen yhtenä tärkeimmistä tavoitteista on luoda raportointimenetelmä, jonka avulla saadaan viati raportoitua selkeästi suunnittelulle. Tulevaisuuden kannalta tutkimus voi myös kartoittaa, onko jotkin viati siirtyneet uusiin raitiovaunuihin esimerkiksi asentajien tai suunnittelijoiden toimesta.

Tutkimuksessa lähdetään liikkeelle taustoittamalla olemassa olevaa Transtechin omaa tietoa vioista ja niiden syistä. Tietoa kerätään haastattelemalla työntekijöitä tehtaalla, suunnittelussa ja mahdollisesti varikolla, tutkimalla raportteja ja tarkastelemalla ovijärjestelmien toimintaa paikan päällä (tehtaalla tai raitiovaunujen liikennöintikaupungissa). Tukena käytetään alan standardeja ja muiden tekemiä tutkimuksia aiheesta. Mahdollisuuksien mukaan laaditaan testaussuunnitelma, jonka avulla selvitetään ovijärjestelmän komponenttien paikoituksen muutosta suhteessa toisiinsa ja vaunun runkoon, kun raitiovaunuja nostetaan testien yhteydessä tehtaalla. Tämän avulla voidaan hieman havainnoida, miten ovet voivat mahdollisesti liikkua runkoon nähden raitiovaunun liikkeessä.

Tavoitteena on suunnitella raportointimenetelmä, jonka avulla saadaan tieto kulkemaan tarkasti asentajien ja suunnittelun välillä. Raportointimenetelmän tulee olla tarpeeksi yksiselitteinen, mutta samalla tarpeeksi kattava, jotta vika saadaan diagnosoitua kunnolla. Vikojen raportoinnin tulee tapahtua niin, että se ottaa huomioon vikojen havainnoitsijan kyvyt ilmaista itseään.

Tutkimus ottaa huomioon myös ovijärjestelmän tärkeyden turvallisuuden kannalta. Ovet ovat kuitenkin järjestelmä, joka on selvässä vuorovaikutuksessa matkustajien kanssa. Lisäksi ovet ovat päivittäin kovalla käytöllä, kun jokaisella pysäkillä tulee auki-kiinnisyklejä.

2 TEORIAOSUUS

Tässä osiossa esitellään syitä, miksi tälle tutkimukselle on tarve ja minkälainen on Transtechilla jo käytössä oleva prosessi, jonka avulla voidaan muutoksia järjestelmiin tehdä. Lisäksi esitellään, minkälaisia tutkimuksia löytyy aiheesta, ohessa käsitellään myös muutama onnettomuustilanne liittyen ovijärjestelmiin. Lisäksi perehdytään tarkemmin tutkimukseen liittyviin raitiovaunuihin. Osiossa tutustutaan ovijärjestelmän tärkeimpään standardiin, joka ohjaa raitiovaunujen ovijärjestelmien toimintaa ja turvallisuutta.

2.1 Tutkimuksen tarve

Transtechilla ei ole aiempaa laajaa tutkimusta ovivikojen osalta. Viat tiedostetaan ja niille on korjausratkaisuja, mutta kokonaiskuvaa vioista ei ole. Työn tavoitteena on kartoittaa ja kategorioida viat, havaittujen vikojen raportointi suunnittelulle selkeästi, ja mahdollisuuksien salliessa esittää ratkaisuja, joilla voidaan ehkäistä vikoja ja vähentää vikojen ilmaantumista.

Lisäksi tavoitteena on päästä lähemmäs sovittua ovijärjestelmän MDBF-arvoa. Tästä enemmän kohdassa 2.7.

2.2 ECR- ja ECO-prosessi

Transtechilla on käytössä ECR- ja ECO-prosessi, joilla voidaan toteuttaa rakenteisiin ja järjestelmiin tehtäviä muutoksia. ECR (Engineering Change Request) on muutospyyntö ja ECO (Engineering Change Order) on muutostilaus.

ECR tehdään, kun havaitaan muutostarve esimerkiksi rakenteessa. Se lähetetään projektin pääsuunnittelijalle, joka välittää tiedon asiantuntijalle, projektille tai muulle vastuuhenkilölle tarkasteltavaksi. Pyyntöä käsitellään ja se joko hyväksytään tai hylätään.

ECO tehdään hyväksytylle ECR:lle. Henkilö, joka hyväksyy ECR:n, tekee ECO:n, joka lähetetään vastuuhenkilölle varsinaisen muutoksen tekoa varten. Siihen liitetään kaikki muutokseen liittyvät kustannusarviot, dokumentaatio, piirustukset, työohjeet, yms.

Kun ECO on valmistettu, se lähetetään hyväksyntäkiertoon siihen liittyvien julkaistavien dokumenttien kanssa. ECO:n julkaisussa määritellään milloin tai missä tuotteissa muutos otetaan käyttöön. (Transtech 2014)

Yleisenä ohjeena on, että jos henkilö havaitsee tuotemuutostarpeen tai suunnittelupoikkeaman, hänen tulee ilmoittaa havainnoista. Ilmoitus tulee tapahtua, vaikka havaitsijalla ei olisi tiedossa, miten tuotetta tulisi muuttaa. Muutoksia tehdään silloin, kun voidaan osoittaa, että sen avulla voidaan saavuttaa säästöjä tai pakottavassa tilanteessa, joka voi olla esimerkiksi ratkaisun muuttaminen asiakasvaatimusta vastaavaksi. Tilanne voi olla myös turvallisuutta vaarantava rakenne, rakenteellinen toimintahäiriö, suunnitteluvirhe, lainsäädäntö, muuttuneet määräykset tai komponentin huono saatavuus. Muutosprosessien avulla voidaan myös kerätä ideoita uusista tuotteista tai nykyisten tuotteiden parantamisesta.

Projektin pääsuunnittelija on vastuussa jokaisen muutoksen toteutuksen arvioinnista. Hänen vastuullaan on tehdä päätös suunnitteluvirheiden ja pikamuutosten toteutuksesta ja aikataulutuksesta, sekä siitä kenen vastuulla on muutoksen vienti eteenpäin. Muutoin päätöksen suunnittelumuutoksen toteutuksesta tekee projektipäällikkö yhdessä pääsuunnittelijan kanssa.

Tuotemuutos käsitellään seuraavien askeleiden mukaan. Ensimmäisenä muutostarpeesta luodaan ECR, jonka hyväksyjänä toimii pääsuunnittelija. Toisena muutostyön hyväksyttäessä luodaan sen pohjalta ECO, ja siihen liittyvä ECR kytketään muutostilaukseen. Yksi ja sama ECR voi liittyä useampaan ECO-objektiin. Kolmantena muutoksen ollessa ei pakkomuutos se katselmoidaan ja siihen liittyvä pöytäkirja liitetään kyseiseen ECR:iin. Suunnittelu aloitetaan vasta, kun muutospyyntö on käsitelty täysin.

Ehdotus muutoksesta tapahtuu Wordissa, jossa käytetään Transtechin omaa dokumenttipohjaa. Dokumentti täytetään ja tallennetaan Soveliaan. Tiedostoon tulee

kirjata kuvaus muutoksesta. Lisäyksenä voi liittää selventäviä tiedostoja kuten piirustuksia, valokuvia yms.

Pikamuutos on kyseessä, jos muutos on pakko toteuttaa, jotta asennustyö voi jatkua tai tuote joudutaan poistamaan käytöstä, jos muutosta ei toteuteta pikaisesti. Tällöin muutospyyntö käsitellään korkealla prioriteettiasteella, toteutukseen saa kulua aikaa maksimissaan yksi viikko.

Ehdotuksen jälkeen muutospyyntö ilmestyy joko suoraan tai esimiehen kautta jatkokäsittelyn kautta pääsuunnittelijalle. Pääsuunnittelijan vastuulla on valita muutospyynnön käsittelijä, joko itsensä tai jonkun muun asian hallitsevan henkilön.

Muutosta voidaan käsitellä pakkomuutoksena, jos muutos halutaan toteuttaa tuotannollisista syistä ja se on pieni, tai muutos vaikuttaa vain tuotannossa oleviin tuotteisiin. Pakkomuutos ei saa vaikuttaa varaosien vaihtokelpoisuuteen, huolto-ohjelmaan tai turvallisuuteen. Siitä ei tarvitse tehdä turvallisuusanalyysiä, eikä se tarvitse vaatimustenmukaisuuskäsittelyä tai asiakashyväksyntää. Pakkomuutoksesta päätöksen tekee pääsuunnittelija tai muutoksen käsittelijä sen jälkeen, kun hän on arvioinut muutoksen vaikutuksia ensin vastaavan asiantuntijan, valmistuksen suunnittelijan ja mahdollisesti pääsuunnittelijan kanssa. Jos kyseessä ei ole pakkomuutos, muutos on katselmoitava.

Muutoksen katselmoinnissa kutsutaan koolle riittävän laajasti eri toimintojen edustajia riippuen muutoksen vaikutuksista. Katselmuksesta tehdään muutuskatselmuspöytäkirja, ja siellä käsitellään muutosehdotus kokonaisuudessaan, kannattavuus ja siihen liittyvät laskelmat, toteuttamisen päätös, perustelut ja laajuus, siihen liittyvä suunnittelu ja suunnittelija ja vaikutus alihankkijoihin. Lisäksi tulee huomioida vastuuhenkilöt, vaikutukset valmistukseen, After Salesiin ja itse projektiin, asiakashyväksyntä ja turvallisuusanalyysit.

Asiakashyväksyntä tulee tehdä tapauskohtaisesti. Se vaaditaan yleensä silloin, kun muutos vaikuttaa vaihtokelpoisuuteen tai sopimukseen ja sen liitteisiin. Projektipäällikkö on vastuussa tästä.

Ehdotuksen käsittelijä tai pääsuunnittelija valitsee suunnittelijan tekemään muutoksen. Suunnittelijan tulee kuvata tehdyt muutossuunnittelutoimenpiteet lomakkeelle. Kun suunnitelma on valmis, vastaava asiantuntija ja pääsuunnittelija hyväksyvät sen.

Muutos otetaan käyttöön tuotannossa, kun saadaan tieto, mihin tuotannossa olevaan tuotteeseen muutos voidaan tehdä ja mihin se tulee tehdä. Tuotteisiin, joihin muutosta ei ehditä ottaa käyttöön tai jotka ovat jo luovutettu asiakkaalle, tulee luoda tuotekohtainen muutostyö, joka kohdistuu tuotannon ulkopuolelle jääneisiin vaunuihin.

Muutos voidaan suorittaa myös ilman ECR-käsittelyä. Tilanteessa, jossa rakenteen kulutuksessa havaitaan virheellinen määrätieto tai materiaalin ominaisuutta ei muuteta, voidaan tällöin muutos tehdä suoraan Leanin kautta.

Muutostilaus ECO ilmoittaa muutoksen sovittu käyttöönottohetki ja siihen liittyvät nimikkeet, piirustukset, työohjeet ja muutokseen kuuluvat materiaalit ja niiden määrät. ECO vaatii aina rinnalleen vähintään yhden ECR:n. Muutostilaus luodaan Sovelian kautta. Tiedostoon kerrotaan muutoksen kuvaus, ECO-vastuuhenkilö, mahdollinen pakkomuutos tai pikamuutos, projektin nimi, tarkastaja (yleensä ilmoituksen tekijä) ja hyväksyjä (pääsuunnittelija). (Transtech 2011, s. 2-15)

Voidaan havaita, että kyseisen prosessin heikkous on se, että prosessi kiertää monen henkilön kautta ja samalla käytetään niin Word- ja Sovelia-ohjelmia, kuten myös Leania. Tällaisten prosessien tulee tapahtua mahdollisimman yksinkertaisesti, tarpeeksi nopeasti ja suoraviivaisesti. Esimerkiksi keskittäminen yhteen sovellukseen ja mahdollisimman vähän eri henkilöiden kautta kiertämistä. Kohdassa 3 tullaan tarkemmin käsittelemään vikojen kartoittamista.

2.3 Aiemmat tutkimukset aiheesta

Tästä aiheesta ei löydy tarpeeksi tarkkaa tutkimusta ennalta myöskään muiden tahojen toimesta. Ovivikoja on tutkittu raitiovaunujen lisäksi eri ajoneuvoissa kuten pikajunissa ja metroissa, mutta näissä voimat vaikuttavat eri tavalla kuin raitiovaunuissa - eroavaisuuksia löytyy esimerkiksi nopeuksissa ja ajopaikoissa, ja siinä ettei

raitiovaunuissa tarvitse olla painetiiviit ovet kuten esimerkiksi ICS-kalustossa (kaksikerroksisissa InterCity-junavaunuissa). Myös eroavaisuudet ovijärjestelmien rakenteissa vaikuttavat ovivikoihin. Tämä kappale käsittelee muutamaa aihetta sivuavaa tutkimusta ja sen lisäksi muutamaa onnettomuustapausta ajoneuvon oviin liittyen.

Seuraavana käsittelyssä on muutama tapaus eri maista ovivikoihin liittyen. Tapaukset ovat joko raitiovaunusta tai junasta, kummassakin ovijärjestelmien toiminta on samankaltainen.

Ovijärjestelmien viat voivat aiheuttaa vakaviakin onnettomuuksia. Esimerkiksi vuonna 2018 Britannian Suur-Manchesterissa tapahtui raitiovaunun oviin liittyvä onnettomuus. Tästä kerrotaan GOV.UK:n artikkelissa. Onnettomuudessa henkilön käsi jäi jumiin raitiovaunun kaksilehtisen oven väliin, jolloin hän raahautui 15 metriä raitiovaunun rinnalla vaunun kiihdyttäessä ja päästessä nopeuteen 10 km/h. Henkilö oli ollut juoksemassa raitiovaunun kyytiin ja koettanut estää ovien sulkeutumisen työntämällä käden sulkeutuvien ovien väliin. Tällöin käsi oli jäänyt ovien väliin. Oven ohjausjärjestelmä ilmoitti kuljettajalle, että kaikki ovet ovat kiinni ja lukittu, mikä tarkoittaa, että liikkeellelähtö voi tapahtua. Kuljettaja oli tarkastanut lisäksi kamerasta, joka kuvaa raitiovaunun sivuja, että kyseinen henkilö oli jättäytynyt pois kyydistä, joten kuljettaja oli lähtenyt liikkeelle. Kuitenkin kuljettaja huomasi henkilön juoksevan vaunun vieressä, jolloin hän pysäytti ajoneuvon ja avasi ovet vapauttaen henkilön.

Onnettomuuden syynä oli siis se, että järjestelmä ilmoitti kaikkien ovien olevan kiinni, vaikka välissä oli ollut käsi eli este. Järjestelmä ilmoittaa, jos ovien väliin jää vähintään 30 mm paksuinen esine (eli este), ja koska käden ollessa alle tämän mitan, ovijärjestelmä ei ole tunnistanut sitä esteeksi, ja tästä syystä se ilmoitti kaiken olevan kunnossa. Standardi EN14752, jota käsitellään kohdassa 2.5.1, määrittelee palikkatestin, jonka mukaan ovi reagoi avautumalla uudestaan, kun ovien välissä oleva este on 30x60mm. Lisäksi standardissa mainitaan ”Obstacle removal force” –testi, jossa este on 10x50mm palikka. Standardi on sopimusvaatimuksena myös Transtechin projekteissa.

Artikkelissa kerrotaan myös aiemmista onnettomuuksista. Eräs matkustaja raahautui raitiovaunun vieressä sen jälkeen, kun hänen kätensä tai vaatteensa jäi oven väliin, mutta

ovijärjestelmä ei havainnoinut tätä, vaan antoi vahvistussignaalin liikkeellelähdölle. Toisen matkustajan käsi jäi ovien väliin, jolloin ovijärjestelmä ei havainnoinut estettä ja antoi luvan lähteä liikkeelle. Tyhjät lastenrattaat raahautuivat raitiovaunupysäkkien välin, kun sen muovinen sateensuoja jäi ovien väliin. (GOV.UK 2018)

Kanadalaisessa *Ottawa Citizenin* artikkelissa kerrotaan, että oviongelmat ovat yleisiä uusissa junissa, mutta niiden ei pitäisi olla suuria ongelmia. Haastateltavana oleva Jeff Casello Waterloon yliopistosta toteaa: ”Ovet ovat historiallisesti ongelmallisin osa järjestelmässä.” Ovet ovat kuitenkin ainoa käyttölaite, jonka kanssa matkustajat ovat tekemisissä. Artikkelissa todetaan, että yleensä ovivika löytyy itse laitteistoista tai ohjelmistosta tai näistä kummastakin. (Ottawa Citizen 2019)

TWI-Global on maailmanlaajuinen itsenäinen tutkimus- ja teknologiaorganisaatio, joka kertoo 5.10.2017 lehdistötiedotteessaan, että Euroopassa 25-50% vioista junissa ovat juurikin vialliset ovet. Maailmanlaajuiset tulokset osoittavat, että jopa 70% junamatkustajien vammoista aiheutuu ovista. (TWI-Global 2017)

2.4 Raitiovaunujen laajempi esittely

Johdannossa esiteltiin raitiovaunut nimiltä ja käyttökaupungeittain, mutta tässä kappaleessa ne käydään läpi tarkemmin. Kuitenkaan esittely ei mene syvälliseksi, vaan se koostuu olennaisista perustiedoista ja tutkimukseen liittyvistä tiedoista. Ovijärjestelmistä tullaan mainitsemaan tässä kohdassa, mutta niistä tarkempaa tietoa on kohdassa 2.6 Ovijärjestelmät.

Kappaleissa käsitellään myös lyhyesti Helsingin ja Tampereen rataverkostoja. Ne eroavat hieman toisistaan, mikä myös vaikuttaa itse raitiovaunujen rakenteisiin.

2.4.1 Artic

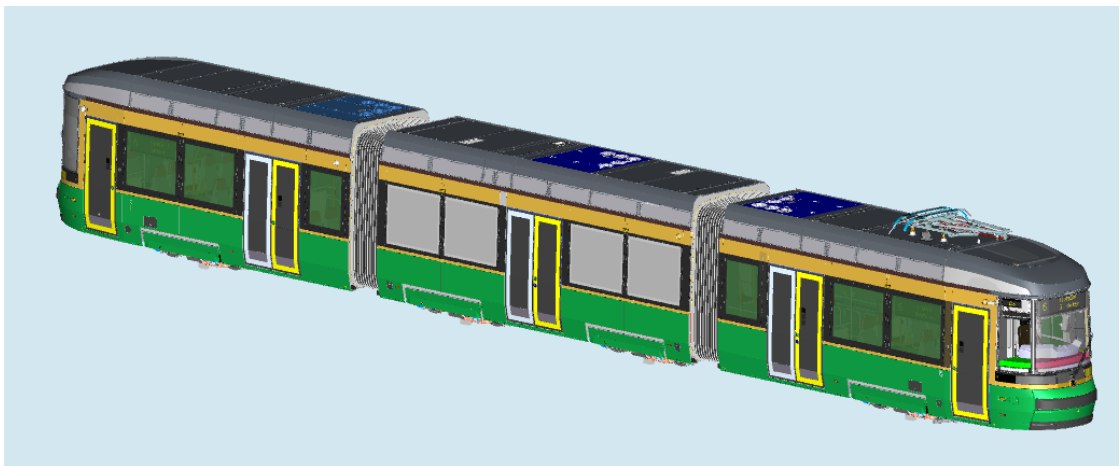
Artic-raitiovaunu on tässä tutkimuksessa käsitellyistä pisimpään liikennöinyt raitiovaunu. Se on ollut liikennetoiminnassa jo vuodesta 2013 Helsingissä. Kaiken kaikkiaan vaunuja on 70 kappaletta Helsingin Kaupungin Liikennelaitoksen (HKL) liikennöimänä. Artic-

raitiovaunuja löytyy myös Saksan Schöneichesta kolmen kappaleen verran. Näitä Saksan vaunuja ei tulla kuitenkaan käsittelemään tutkimuksessa.

Articin pituus on 26,7 metriä ja siitä löytyy HKL:n toiveiden mukaisesti esimerkiksi kääntyvät telit, pitkät jouset ja kiinteät akselit. Näiden ansiosta sen liikkeet ovat pehmeitä Helsingin vaikealla rataverkostolla, joka sisältää jyrkkiä mutkia. (Suomen Raitiotieseura 2021a)

Helsingin rataverkon nimellisraideleveys on 1000 mm – sallittu vaihteluväli on 999-1002 mm. Kaarteissa, joiden kaarresäde on alle 50 m, raideleveys on 1002 mm. Sen vaihteluväli on taasen 1000-1002 mm. (Suomen Raitiotieseura 2021c)

Kuten kuvasta 1 näkyy, Artic muodostuu kolmesta moduulista, jotka ovat oikealla oleva (etuosa) A-moduuli, vasemmalla (takaosa) B-moduuli ja keskellä C-moduuli. Raitiovaunusta löytyy vain edestäpäin katsottuna vasemmalta ovet, sillä Artic on yhteen suuntaan ajettava. A-moduulista löytyy ohjauspöytä ja ohjaus tapahtuu sieltä, mutta B-moduulista löytyy käännettävä ohjauspöytä, jossa on minimaaliset ohjauskontrollit, joten yksinkertainen ajo onnistuu sieltäkin.



Kuva 1. Articin 3D-malli.

Ovijärjestelmät ovat yksi- tai kaksilehtisiä. Lehtisyydellä ilmaistaan, kuinka monta ovilehteä yksi ovijärjestelmä liikuttaa. Ovijärjestelmistä puhutaan myös oikea- ja vasenkätisyydestä. Vasenkätisessä ovesta sisältäpäin katsottuna ovi liukuu vasemmalle avautuessa, oikeakätinen oikealle. Kaksilehtiset ovet mahdollistavat esteettömän kulun, joka mahdollistaa lastenvaunujen ja liikuntarajoitteisten matkustamisen vaunussa. Jokainen ovi on kuljettajan ohjattavissa ohjaamosta käsin. Articissa ovijärjestelmänä toimii Ultimaten ovijärjestelmä, ja tietoja ovivioista on kerätty laajasti, joten Artic on ehdottomasti tärkein raitiovaunu tutkimuksen kannalta. Tarkempi perehtyminen Ultimaten ovijärjestelmään tapahtuu kohdassa 2.6.

A- ja B-moduulit ovat varusteltu kummatkin yhdellä yksilehtisellä ja yhdellä kaksilehtisellä ovella. C-moduulista löytyy yksi kaksilehtinen ovijärjestelmä. Eli kokonaisuudessa Articissa on kaikkiaan viisi ovijärjestelmää.

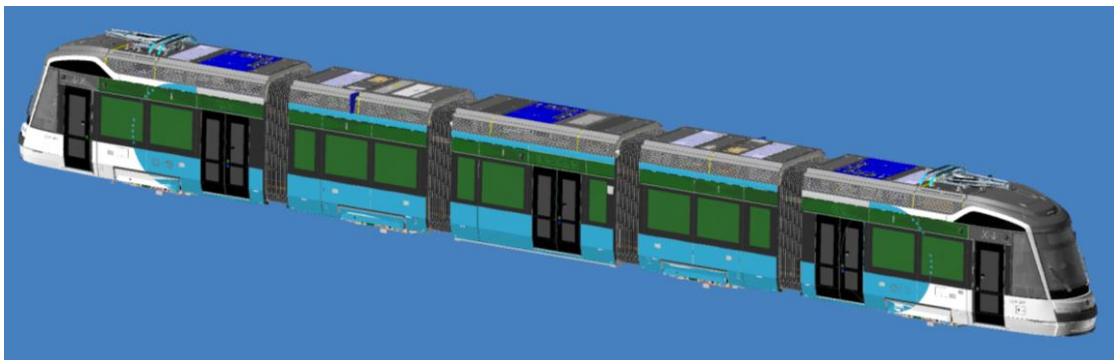
Muuta huomioitavaa Articissa on se, että sen väritys on vihreä. (Suomen Raitiotiesseura 2021a)

2.4.2 Jokeri

Helsingissä toinen raitiovaunukokonaisuus on Raide-Jokeri, jota kutsutaan lyhyemmin Jokeriksi. Tämä nimi tulee seuraavista sanoista: **Joukkoliikenteen kehämäinen raideinvenstointi**. HKL tilasi 29 kappaletta Jokeria, ja ensimmäisen vaunun, joka oli protovaunu, toimitus oli keväällä 2021. Vuoden 2021 alussa HKL päätti tilata identtisiä vaunuja vielä 23 kappaletta lisää. Jokeri eroaa Articista väriyksensä perusteella, kaksisuuntaisuudellaan (ohjaamot löytyvät raitiovaunun kummastakin päästä ja ovet löytyvät vaunun molemmilta puolilta) ja 34,5 metrin pituudellaan.

Jokerin liikennöinti tulee tapahtumaan Espoon Keilaniemen ja Helsingin Itäkeskuksen välillä. Liikennöinnin on tarkoitus alkaa vuonna 2024. Kuitenkin Jokerilla on kyky liikennöidä myös kantakaupungissa, missä se tällä hetkellä on ajossa. (Suomen Raitiotiesseura 2021b)

Kuva 2 esittää Jokerin 3D-mallin. Se muodostuu viidestä eri moduulista, päätymoduulit ovat A- (kuvassa oikealla) ja B-moduulit (kuvassa vasemmalla), joista kummastakin löytyy ohjaamot. A-moduulin jälkeen tulee C, B-moduulin viereinen on D ja keskimmäinen moduuli on E. C- ja D-moduuleista ei löydy ollenkaan ovia. E-moduulissa on kummallakin sivulla kaksilehtinen ovijärjestelmä. A- ja B-moduuleista löytyy kummaltakin sivulta yksi yksilehtinen ja yksi kaksilehtinen ovijärjestelmä. Kaiken kaikkiaan ovijärjestelmiä on Jokerissa kymmenen.



Kuva 2. Jokerin 3D-malli.

Jokeri on varusteltu kallistusjärjestelmällä, jonka avulla E-moduuli kykenee kallistumaan. Kallistuminen mahdollistaa oviaukon kynnyksen laskeutumisen 100 mm alemmas normaalista korkeudesta, jolloin kulku helpottuu esimerkiksi liikuntarajoitteisille. Kallistaminen tuo ovijärjestelmälle lisäehdon, jolloin ovi ei saa avautua täysin ennen kuin kallistuminen on tapahtunut. (Lämsä 2021, s. 14). Oven tulee olla ”kiinni ja lukittu” –tilassa, jotta moduuli voidaan kallistaa tai oikaista. Jos ovi ei ole tässä tilassa, ovelta ei lähde ”kallistus sallittu” –signaalia.

Kuten Articissakin, Jokerissa on käytössä Ultimaten ovijärjestelmä.

2.4.3 Tamsa

Vuonna 2019 aloitettiin Transtechin Otanmäen tehtaalla valmistamaan Tampereen raitiovaunuja ja niitä tilattiin 19 kappaletta. Kaiken kaikkiaan vaunuja toimitettiin 20 kappaletta (Tampereen Ratikka 2019b). Vaunuja koeajetaan Tampereella, sillä

Otanmäessä ei ole sopivaa raidetta testaukseen – Helsingin raitiovaunut ja rataverkosto ovat kapeampia verrattuna Tamsaan ja Tampereen raiteisiin. Tampereen raitiotien raideleveys on 1435 mm (Suomen Raitiotiesseura 2021d). Tästä syystä Tamsa onkin näyttäytynyt Tampereen katukuvassa jo ennen virallista liikennöintiä. (Tampereen Ratikka 2019b)

Tamsa on rakennettu Tampereelle sopivien vaatimusten mukaan. Pituutta löytyy 37,3 metriä. Tamsa on kolmimoduulinen. Se on myös kaksisuuntainen kuten Jokerikin. Väritys valittiin äänestyksessä tamperelaisten toimesta punaiseksi. (Tampereen Ratikka 2019a; Tampereen Ratikka 2019b)

Kuva 3 esittää Tamsan 3D-mallin, joka poikkeaa kuitenkin todellisuudesta hieman, esimerkiksi katon ulkopanelointi on kokonaan musta. Yksi raitiovaunu muodostuu kolmesta moduulista ja kummastakin päätymoduulista (A- ja B-moduuleista) löytyy ohjaamot, ja kummassakin on yksi yksilehtinen ja yksi kaksilehtinen ovijärjestelmä per puoli. C-moduulissa on yksi kaksilehtinen ovijärjestelmä kummallakin sivulla, täten Tamsassa on ovia kokonaisuudessa kymmenen.



Kuva 3. Tamsan 3D-malli.

Tamsan ovijärjestelmäksi on valikoitunut tamperelaisen Tamwaren ovijärjestelmä. Tämä ovijärjestelmä noudattaa soveltuvin osin standardin EN 14752 vuoden 2015 versiota, mutta tekninen erittely ja asiakkaan vaatimukset ajavat paikoin ohi. (Tamware 2019a, s. 5)

Eroavaisuudet edellisiin standardin versioihin avataan seuraavassa kohdassa 2.5.

2.5 Standardit

Tärkein ja ohjaavin standardi ovijärjestelmien kohdalla on EN 14752. Articissa on käytössä standardin versio vuodelta 2005, kun taas Tamsassa käytetään vuoden 2015 versiota. Jokerissa standardia sovelletaan vuoden 2005 mukaan, vaikka valmistus on aloitettu standardin päivityksen jälkeen. Tämä on kirjattu Jokerin asiakassopimukseen. Tässä kappaleessa käsitellään myös näiden standardien eroja. Seuraavaksi esitellään standardin vuoden 2005 version mukaisesti, minkä jälkeen selostetaan muutokset ja lisäykset vuoden 2015 versioon. Standardia ei esitellä kohta kohdalta, vaan ne kohdat, jotka ovat oleellisia tämän tutkimuksen kannalta. Lisäksi esitellään standardeja, jotka sivuavat tutkimuksen aihetta.

2.5.1 Standardi EN 14752

Standardi EN 14752 määrittelee vähimmäisvaatimukset raitiovaunun ovijärjestelmän rakenteeseen ja käyttöön. Ne varmistavat raitiovaunun matkustajien turvallisen sisäänpääsyn ja poismenon vaunusta ovien kautta; henkilön vahingoittumisen riskin ovijärjestelmän käyttämisessä olevan mahdollisimman pieni; ovien suljettuna pysymisen raitiovaunun liikkuessa; ja ovijärjestelmän turvallisen huollon. (SFS-EN 14752:2006, s. 5)

Standardi viittaa käsikäyttöisiin ja sähkökäyttöisiin oviin, jotka on suunniteltu niin raitiovaunuihin, metroiin että pikajuniin, eli kiskokalustoihin, jotka kuljettavat matkustajia. Standardia ei kuitenkaan sovelleta oviin, jotka johtavat laitteiden pääsyyn, tarkastukseen tai huoltotarkoituksiin, eikä vain henkilökunnan käytössä oleviin oviin. (SFS-EN 14752:2006, s. 6)

Ovijärjestelmän mitoituksen pääsuunnat löytyvät standardista. Oven minimileveys tulee olla vähintään 800 mm sallien esteettömän sisääntulon ja poismenon. Minimikorkeuden tulee olla vähintään esteettömästi 1900 mm, poikkeuksena kohdat, joissa rakenne ei mahdollista tätä korkeutta. (SFS-EN 14752:2006, s. 8)

Standardi ohjeistaa, että kaikkien ovi-ikkunoiden tulee olla turvalasia. Jos oven ikkunan alareunan etäisyys lattiasta on vähemmän kuin 800 mm, ovi tulee olla turvattu niin, että se estää matkustajan kaatumisen ikkunan läpi ikkunan ollessa rikki. (SFS-EN 14752:2006, s. 12)

Oven mekaaninen kestävyys on määritelty niin matkustajien, aerodynaamisten voimien, kolareiden että tärinän osalta. Oven tulee kestää matkustajan nojaamisen tai kaatumisen ilman pysyvää muodonmuutosta. Nämä eivät saa vaikuttaa oven toimintaan. Tästä syystä suljetun ja lukitun ovipaneelin – ikkunat mukaan lukien – tulee kestää kohdistettu työntövoima. Tämä kuormitus esitetään oven levyisellä ja 200 mm korkuisella vyöhykkeellä 1300 mm etäisyydeltä lattiasta. Voiman tulee olla 1000 N per metri oven paljasta sisäpintaa kohti, liukuovessa lukitusjärjestelmän tulee kestää 1200 N voiman avautumissuunnassa. (SFS-EN 14752:2006, s.13)

Ovijärjestelmän tulee kestää standardin liitteen F mukaisesti paineimpulssien vaikutukset ilman, että oveen tulee pysyviä muodonmuutoksia. Ovijärjestelmä tulee myös suunnitella kestämiään laitteille määriteltyjen tärinöiden ja iskujen vaikutukset standardin EN 12663 mukaisesti. Ajoneuvon kaatumisesta ja siihen liittyvästä tilanteesta pitää sopimuksessa erikseen täsmentää, jos oven lujuuden tulee perustua ajoneuvon kaatumiseen, eli standardi ei määrittele tätä. Se kuitenkin määrittelee, ettei kaatumisen yhteydessä ovi saa murskaantua. Tämä perustuu siihen, että törmäyksessä oletetaan matkustajan painautuvan ovea vasten aiheuttaen 6 kN/m^2 voiman. Pysyvät muodonmuutokset on tällöin sallittuja. (SFS-EN 14752:2006, s. 14)

Standardissa annetaan raamit oven mekaaniselle suunnittelulle, jotta oven säädöt ja välkykset ovat suorituskyvyn mukaiset. Oven säätämisen tulee olla helppoa ja rajoitettua, säätölaitteiden tulee olla helposti saatavilla. Erilaisissa kuormitusolosuhteissa asetuista toleransseista ja taipumisista tulee sopia ajoneuvon valmistajan ja ovitoimittajan kanssa. (SFS-EN 14752:2006, s. 18)

Elektronisten laitteiden osalta standardi mainitsee, että niiden tulee noudattaa standardeja EN 50155 ja EN 50121-3-2. Ovenohjausjärjestelmän ohjelmisto tulee suunnitella niin, että se saavuttaa tarvittavan ohjelmiston turvallisuuden eheystason (SSIL, software safety

integrity level) ovijärjestelmän turvallisuusvaatimuksissa. Standardi EN 50128 antaa säännöt rautatieohjaus- ja suojausjärjestelmien ohjelmistoista. Ohjelmiston toiminta tulee tarkistaa tyyppitestin aikana.

Ympäristöolosuhteiden suhteen standardi ohjeistaa tutustumaan standardiin EN 50125-1, joka ohjaa kiskokaluston varusteluun eri sääolosuhteissa kuten lämpötilan vaihtelu, saasteet, jää, lumi ja sade. Jos mahdollisia poikkeamia löytyy määritetyistä suorituskvyvistä, tulee nämä määritellä erikseen sopimuksessa. (SFS-EN 14752:2006, s. 19)

Ovijärjestelmän tulee olla suunniteltu niin, että se estää veden pääsyn ajoneuvoon, kun ovi on suljettu. Vedenpitävyys testataan standardin liitteen B vesitestausten menetelmän mukaisesti. Jos ovijärjestelmä ei kykene täyttämään vedenpitävyysvaatimusta, tulee sisälle tuleva vesi poistaa asianmukaisesti.

Standardissa määritellään toiminnalliset vaatimukset. Ovien ohjaus tulee tapahtua henkilökunnan toimesta tai automaattisen järjestelmän kautta. Oven vapautus tulee olla mahdollista vain ajoneuvon nopeuden ollessa alle 5 km/h, sopimuksessa voidaan määrittää pienempi arvo.

Jos ovijärjestelmän virransyöttö epäonnistuu, oven vapautus, eli esimerkiksi oven avaus painikkeella, ei tule olla mahdollista. Oven ohjausjärjestelmän tulee toimia siten, että vähintään kaksi toisistaan riippumatonta vikaa täytyy ilmaantua samaan aikaan, jotta vikoihin liittyvä ovi, joka ei ole käytössä, avautuu komentamatta. Jos vapautussignaali ei välity ajoneuvon sisällä yhteysongelmien takia, vaatimusta sovelletaan vain, kun nopeus ylittää 5 km/h (vuoden 2015 versiossa sivulla 28 annetaan nopeudeksi 3 km/h). Yhteysongelmat voivat johtua esimerkiksi siitä, että junaan on kytketty sekä vanhoja että uusia junavaunuja, joiden läpi vapautussignaali ei kykene kulkemaan. (SFS-EN 14752:2006, s. 20)

Ajoneuvon sisäpuolelta löytyville hätäavauskahvojen käyttövoimalle annetaan myös maksimiarvo, joka on 150 N. Näin varmistetaan, että matkustajilla on mahdollisuus

käyttää hätäavauskahvaa, sillä vaadittava voima pysyy tietyissä rajoissa. (SFS-EN 14752:2006, s. 28)

Voimat oven sulkeutuessa tulee olla standardin mukaisissa rajoissa. Vuoden 2005 versiossa esteen ollessa oven välissä, ovijärjestelmä pyrkii sulkeutumaan käyttäen tehokkaampaa voimaa sulkuyrityksessään. Ensimmäisellä kerralla ovijärjestelmä käyttää maksimissaan 150 N voimaa, minkä jälkeen sulkuvoima saa olla maksimissaan 200 N. Vuoden 2015 standardi taas ohjaa sivuilla 36-37 tarkistamaan omasta kuvaajasta 13 järjestelmään kuuluvan maksimiarvon. Kyseissä kuvaajassa sulkuvoiman maksimiarvo (Y) on esitetty oven aukeamaleveyden (X) funktiona. Tämä todennetaan testeissä mittaamalla voimaa eri aukeamaleveyksillä standardin liitteen D mukaisesti. Oletuksena noudatetaan kuvaajan käyrää 1 (kuvaajassa käyrä 1 ja käyrä 2). Jos projektin teknisissä vaatimuksissa vaaditaan, voidaan tiheämmän matkustajavirran tapauksessa käyttää kuvaajan käyrän 2 mukaista voimaa. Tämä tulee erikseen vaatia sopimuksessa. Oven ohjaavat reunat tulee suunnitella niin, että ne estävät henkilön tai esineen jäämästä jumiin ovien väliin. Reunojen suunnittelussa tulee ottaa huomioon, etteivät reunat aiheuta vahinkoja oven käyttäjälle. (SFS-EN 14752:2006, s. 25-26) Ovien ohjauspainikkeiden tulee toimia 15 N voimalla tai sitä pienemmällä. (SFS-EN 14752:2006, s. 31)

Standardi määrittelee testit, joita ovijärjestelmä vaatii eri vaiheissa. Ne voidaan jakaa yleisiin, tyyppi-, rutiini- ja toiminnallisiin testeihin. Yleiset testit suoritetaan osoittaakseen, että ovet toimivat sopimusten ja Euroopan Standardien vaatimusten mukaan. Yleisen testin testisuunnitelma on esitetty standardin liitteessä E, ja se osoittaa tarvittavan testauksen eurooppalaisen standardin noudattamisen osoittamiseksi. Tyypitestit taas suoritetaan ensimmäiselle ovijärjestelmälle tai sen osakokonaisuuksiin, jotta voidaan todeta suunniteltu toimivuus. Tästä voidaan kuitenkin sopia erikseen sopimuksessa. Jos tyypitestit tehdään prototyyppille tai esivalmistellulle ovijärjestelmälle, tulee valmistajan sopia käyttäjän kanssa mahdollisista lisätestien vaatimuksesta ensimmäiselle valmistetulle ovijärjestelmälle. Rutiinitestit suoritetaan toimitettaville oven osakokoonpanoille, ja niiden on sisällettävä mittauksia ja tarkastuksia tuotantodokumenttien noudattamisen varmistamiseksi. Sopimuksessa tulee sopia rutiinitestausten laajuus. Toiminnalliset testit tulee tehdä standardin EN 50215

mukaisesti. Niillä tulee osoittaa, että ovijärjestelmä toimii oikein sopimuksen mukaisesti ja sopimuksen määrittelemissä olosuhteissa. (SFS-EN 14752:2006, s. 32)

Vuoden 2015 versiossa oven minimileveys on määritelty myös siinä tilanteessa, jossa pyörätuoleille tarkoitetun oven yhteydessä ei ole kynnystä. Tällöin minileveyden tulee olla 1000 mm. (SFS-EN 14752:2015, s. 13)

Oven ikkunoista on annettu myös laajempi kuvaus. Ovien tulee olla varusteltu läpinäkyvillä ikkunoilla, jotta matkustajat voivat nähdä laiturin. Kuten vuoden 2005 standardin mukaan myös vuoden 2015 ohjastaa, että ovi-ikkunat tulee olla turvalaseja, lisäyksenä se, että niiden tulee olla laminoitu tai karkaistu, ja niiden tulee olla yhdenmukainen asiaankuuluvan kansallisen tai kansainvälisen standardin mukaisesti. Laseissa voidaan käyttää myös muuta materiaalia, joka saavuttaa vastaavan turvallisuustason. Standardi ohjeistaa turvalasin kiinnittämisen asianmukaisesti mekaanisesti, liimauksella tai mekaanisilla elementeillä (esimerkiksi tanko) tai vastaavilla keinoilla. Jos tankoja käytetään, ne eivät saa aiheuttaa vaaratilanteita matkustajille. (SFS-EN 14752:2015, s. 18)

Vuoden 2015 standardi ohjeistaa sivulla 20 noudattamaan joko standardia EN 12663-1 tai EN 61373 värähtelyn- ja iskunkestävyyden suhteen. Jälkimmäinen mainittiin vuoden 2005 versiossa, jos sopimuksessa on määritelty erikseen mekaanisten komponenttien testaus värähtelyn ja iskujen osalta. (SFS-EN 14752:2006, s. 14)

2.5.2 Muita standardeja

Tämä kappale käsittelee standardeja, jotka sivuavat tutkimusta jollain tapaa. Ovijärjestelmiin ja sen osiin viitataan muissa standardeissa, mutta yleensä kohdat eivät ole laajoja.

Edellisessä kappaleessa 2.5.1 mainittu standardi EN 12663 käsittelee vaatimuksia kiskokaluston korin rakenteellisille lujuuksille, eli se ohjeistaa laskennoissa käytettäviä massoja, staattisia kuormituksia, maksimikiiktyvyyksiä ja väsyttävät kiihtyvyydet. Se ei anna suoranaisesti ovijärjestelmiin liittyen ohjeita. Standardissa kerrotaan, että

kiskokalustonrakenteeseen kohdistuu suuri määrä vaihtelevia dynaamisia kuormia käytön aikana. Kuormituksien vaikutukset tulevat esille ajoneuvon korin kriittisissä kohdissa. Näissä kohdissa voi tapahtua esimerkiksi geometrisia muutoksia, jotka aiheuttavat jännityskeskittymiä, esimerkiksi juuri oven kulmassa. (SFS-EN 12663:2015, s. 13)

Transtechilla standardi on käytössä soveltuvin osin. Asiakkaat ovat vaatineet, että raitiovaunujen osalta tulee käyttää suurempia kuormia laskennoissa. Lisäksi esimerkiksi HKL on vaatinut lisäämään korille ylimääräisiä puristuskuormia, joita ei standardissa ohjeisteta.

Seuraaviin standardeihin ei ole Transtechilla käyttöoikeutta, eli yritys ei ole niitä ostanut käyttöönsä, ja voidaan olettaa, että tutkimuksen kannalta niiden käyttö ei ole tarpeellista. Niistä on kuitenkin maininta aiemmassa kappaleessa, joten seuraavaksi käsitellään niiden sisältöä johdantojen avulla. Standardin EN 50155 sisältö koskee kiskokalustoon asennettuja elektronisia laitteita: ohjaus-, säätö-, suojaus-, diagnostiikka-, syöttö- ja muita laitteita. Standardissa määritellään elektroniikkalaitteet laitteiksi, jotka koostuvat pääasiassa puolijohdelaitteista ja niihin hyväksytyistä ja liittyvistä komponenteista. Siinä käsitellään elektronisten laitteiden toimintaedellytykset, suunnitteluvaatimukset, dokumentoinnin, testauksen ja laitteiden ja ohjelmistojen perusvaatimukset, joita pidetään välttämättöminä vaatimustenmukaisille ja luotettaville laitteille. (SFS 2017b)

Standardissa EN 50121-3-2 käsitellään rautatiekalustossa käytettävien sähkö- ja elektroniikkalaitteiden EMC-päästöjä, eli sähkömagneettinen yhteensopivuus (electromagnetic compatibility), ja häiriönsietokykyä. Standardi huomioi rautatiekaluston sisäisen ympäristön, rautateiden ulkoisen ympäristön ja laitteiden, kuten radiolähettimien, aiheuttamat häiriöt. (SFS 2017a)

EN 50125-1 määrittelee ympäristöolosuhteet Euroopassa, mutta sitä voidaan soveltaa myös muualla maailmaa sopimalla. Se kattaa seuraavat parametrien määritelmät ja alueet: korkeus, lämpötila, kosteus, ilman liike, sade, lumi, rakeet, jää, aurinkosäteily, salama, saaste, värinä, iskut ja sähkömagneettinen häiriöympäristö. Tämä koskee kiskokalustossa olevia laitteita, jotka ovat mekaanisia, sähkömekaanisia, sähköisiä ja elektronisia.

Matkustajien vaikutusta laitteisiin tai varusteiden vaikutuksia matkustajiin ei oteta huomioon. Standardia ei tule myöskään soveltaa luonnonkatastrofeihin. (SFS 2014)

Kuten edellisessä kappaleessa 2.5.1 kerrottiin, standardi EN 50215 määrittelee yleiset kriteerit, joilla voidaan osoittaa testaamalla, että uudet kokonaiset rautatieajoneuvot ovat standardien tai muiden normatiivisten asiakirjojen mukaisia. Standardia tulee käyttää teknisenä ohjeena testien käsittelyyn, joita voidaan tarvita tiettyjen teknisten vaatimusten osoittamiseen. (SFS 2016)

2.6 Ovijärjestelmät

Tämä osio esittelee tutkimuksen kohteena olevat ovijärjestelmät yksityiskohtaisesti. Ne eroavat toisistaan toimittajien lisäksi toimintaperiaatteiltaan ja tekniikoiltaan. Kuitenkin kummatkin ovijärjestelmät ovat perustyyppiltään tulppaliukuovia, jotka muodostuvat ovilehdistä, ovikoneistosta, tiivisteliskoista ja pysty-/pilaritangoista. Ensimmäisenä käydään lyhyesti läpi ovijärjestelmien päätoimintaperiaatteet, minkä jälkeen ovijärjestelmistä esitellään Ultimaten ovijärjestelmä, sen asennus, ja sitten Tamsa. Kappaleet sivuavat toisiaan, joten turhaa toistoa vältetään, minkä takia Tamsan osuudessa esitellään enemmän eroavaisuuksia.

Kappaleissa näkyvät kuvat ovat Transtechin 3D-malleista tehtyjä piirustuksia. Ne eivät ole virallisia kuvituksia, vaan tehty tätä työtä varten.

2.6.1 Ovijärjestelmän toiminta yleisesti

Tarkoitus ei ole käydä täydellisesti läpi ovijärjestelmien toimintaa, vaan antaa yleiskuva, miten ovijärjestelmä pääpiirteittäin toimii jokaisessa Transtechin projektissa. Ovet pysyvät lukittuina niin kauan kuin kuljettaja vapauttaa ovet, jolloin matkustajat voivat käyttää ovia. Jotta tämä vapautus voi tapahtua, tulee kaikkien seuraavien ehtojen täyttyä: nopeuden tulee olla alle 3km/h, seisontajarru on aktivoitu, ajokahva on 0- tai jarrutusasennossa ja kuljettaja on vapauttanut ovet.

Kun tämä on tapahtunut, matkustajat voivat ohjata ovia sisä- ja ulkopuolelta löytyvillä avaa- ja lastenvaunu-painikkeilla, mutta myös kaiteista löytyvillä STOP- tai lastenvaunu-painikkeilla (Tamsassa ei ole STOP-painikkeita).

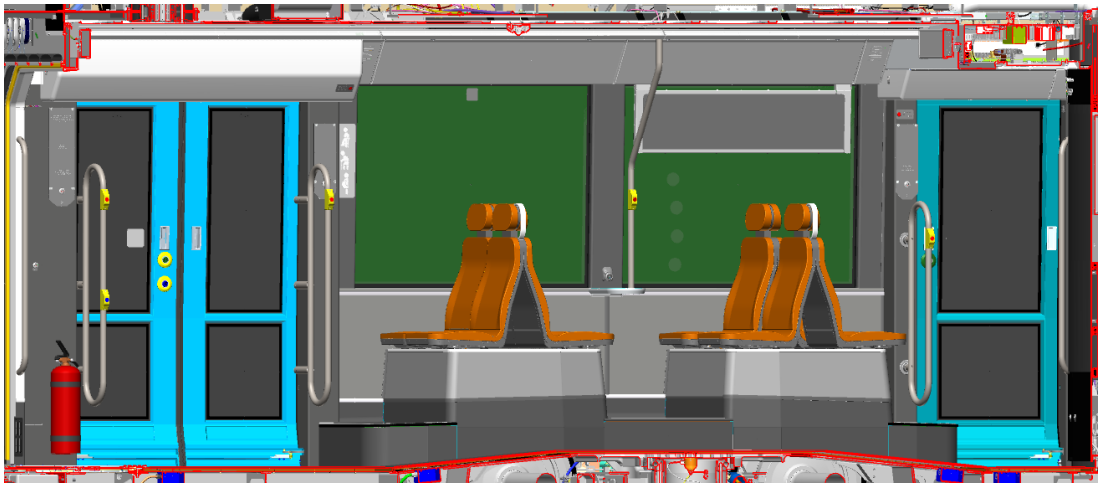
2.6.2 Ultimate

Ultimaten ovijärjestelmät eroavat hieman Articin ja Jokerin välillä, sillä Jokerin ovilehdet ovat täyslasiset ja tämän takia painavammat. Kaksilehtinen ovijärjestelmä Jokerissa painaa 199 kg ($\pm 5\%$) ja itse ovilehti 53 kg (Palmetshofer 2019b, s. 5), ja yksilehtinen järjestelmä 142 kg ($\pm 5\%$) ja ovilehti 63 kg (Palmetshofer 2019a, s. 5). Tämä ollaan otettu huomioon leveämmällä ovilehden kannakkeella ja ohjelmistomuutoksella, muuten toimintaperiaatteet ovat samanlaisia kummankin raitiovaunun osalta.

Ovijärjestelmät on suunniteltu siten, että ne ovat yksinkertaisia ja vähäosaisia, ja niiden käyttöikä olisi mahdollisimman pitkä matalalla huoltotarpeella. Ovijärjestelmän ovilehdet koostuvat lasin lisäksi hitsatusta ja pursotetusta alumiinista. Oven tiivisteet ovat paloturvallista kumia. (Palmetshofer 2019a, s. 4)

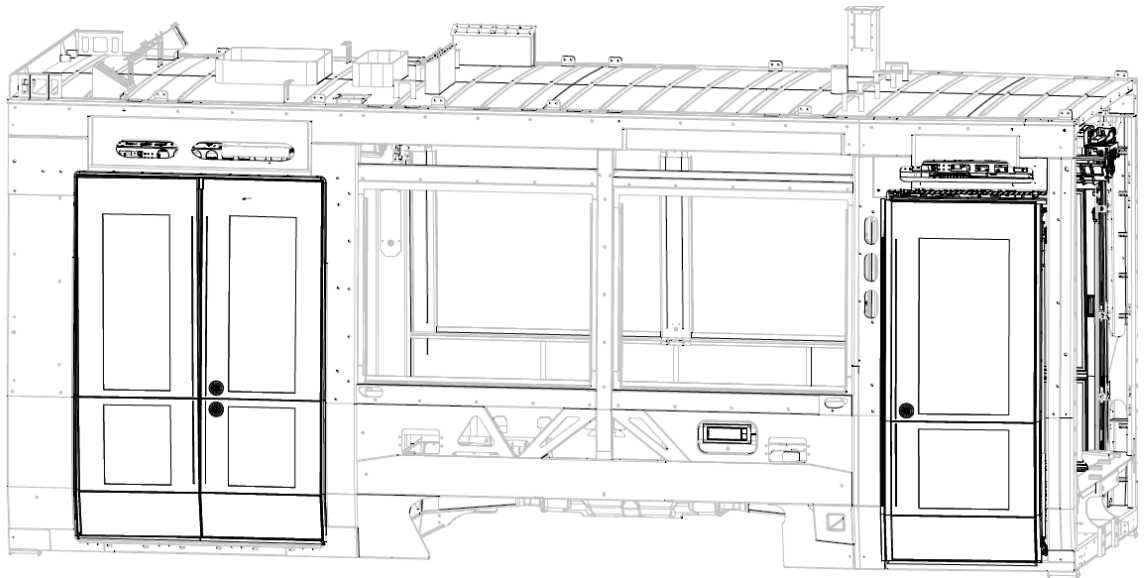
Kaksilehtisen oven kohdalla vaunun rungossa olevan oviaukon leveys on 1552 mm (+5/-0 mm). Valmiissa vaunussa oven vapaan kulkuaukon leveys on 1300 mm (+15/-0 mm). Oven korkeus vaunun rungossa on 2234 mm (+3/-0 mm) ja valmiissa vaunussa 2000 mm (+3/-0 mm) (Palmetshofer 2019b, s. 5). Yksilehtisen oviaukon leveys rungossa on 975 mm (+4/-0 mm). Valmiin vaunun vapaa kulkuaukon leveyden tulee olla 785 mm (+0/-15 mm) – Articin sopimuksessa kyseinen mitta on 800 mm (+15/-0 mm). Rungon oviaukon korkeus on 2234 mm (+3/0 mm) ja valmiissa 2000 mm (Palmetshofer 2019a, s. 5).

Kuvassa 4 on Jokerin 3D-mallista tehty leikkauskuva. Vasemmalla ja oikealla ovat näkyvissä ovijärjestelmät ympäröivine panelointineen ja kaiteineen. Kyseessä on A-moduuli, joten vaunusta löytyy kaksi- ja yksilehtiset ovet. Kummankin ovijärjestelmän yläpuolella on näkyvissä vaaleat ovikoneiston kotelot, jotka peittävät ovikoneistot. Kotelot voidaan avata kolmioavaimella. Ovien ympärillä näkyy harmaat paneloinnit, jotka peittävät alleen pystytangot, sisäpuolen hätäavauskahvan ja valokennot. Paneeleissa on näkyvissä hätäseiskahvojen sijainnit ja suojukset (vaaleanharmaat).



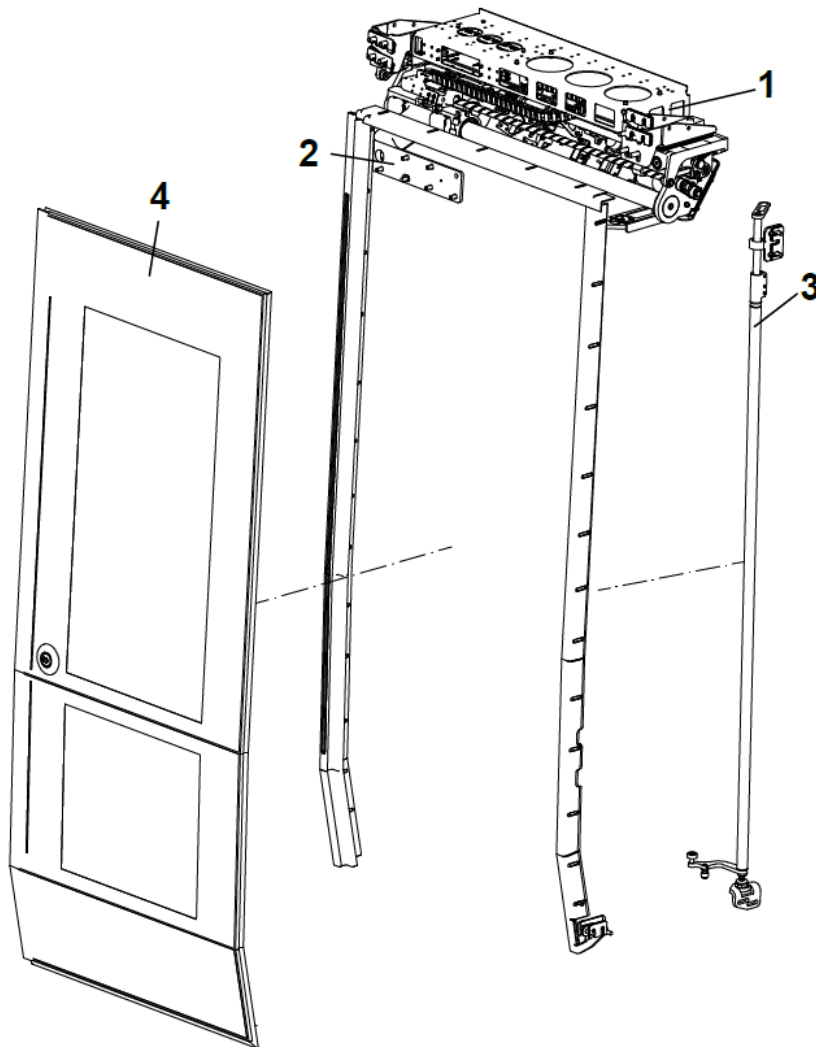
Kuva 4. 3D-mallin leikkauskuva Jokerin sisäpaneloinnista.

Kuvassa 5 on esitetty A-moduulin runko ilman panelointia ja ovijärjestelmät. Yksilehtisen oven vasemmalta puolelta on nähtävissä ulkopuolen hätäavauskahva, joka löytyy jokaisen 1-lehtisen oven ulkopuolelta.



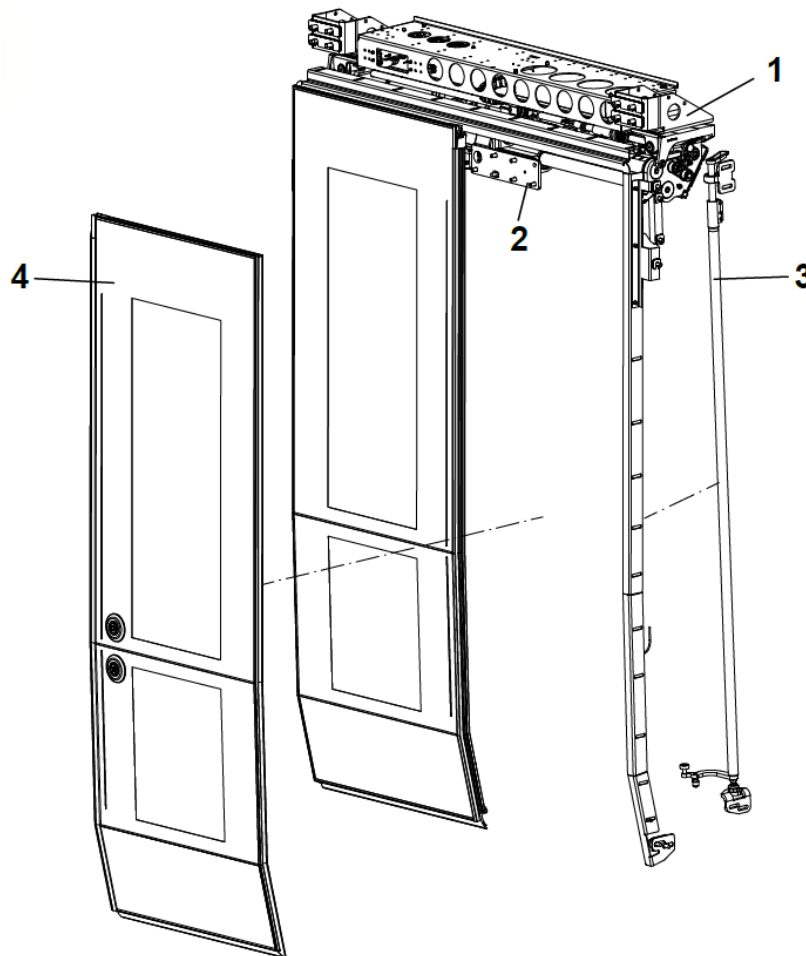
Kuva 5. Jokerin runko ja Ultimate-ovijärjestelmät.

Kuvassa 6 on näkyvissä Jokerista löytyvä Ultimaten yksilehtisen ovijärjestelmän pääkomponentit numeroituina. Numero 1 on ovikoneisto, joka sijaitsee vaunun sisäpuolella ovikotelossa. Ovikoneistossa sijaitsee oven liikuttamisen mahdollistava koneisto ja oviohjausjärjestelmä DCU (door control unit). Numero 2 on ovilehden kannatin, jonka kautta ovilehdet kiinnitetään ovikoneistoon, ja samalla sen avulla voidaan säätää tarvittaessa ovilehden asentoa. Numerolla 3 on ilmoitettu pystytanko, joka sisältää ohjausrullat, joiden avulla oven liikeradat määreytyvät. Pystytanko määrittää ovilehden alaosan liikkeen. Numero 4 on ovilehti, josta löytyy yksi avaa-painike niin sisä- että ulkopuolelta. Kuvassa ei ole näkyvissä ovalueen panelointia, joiden taakse ovikoneisto ja pystytanko sijoittuvat, jotta matkustajat eivät pääse niihin käsiksi, eikä ne voi aiheuttaa vaaratilanteita.



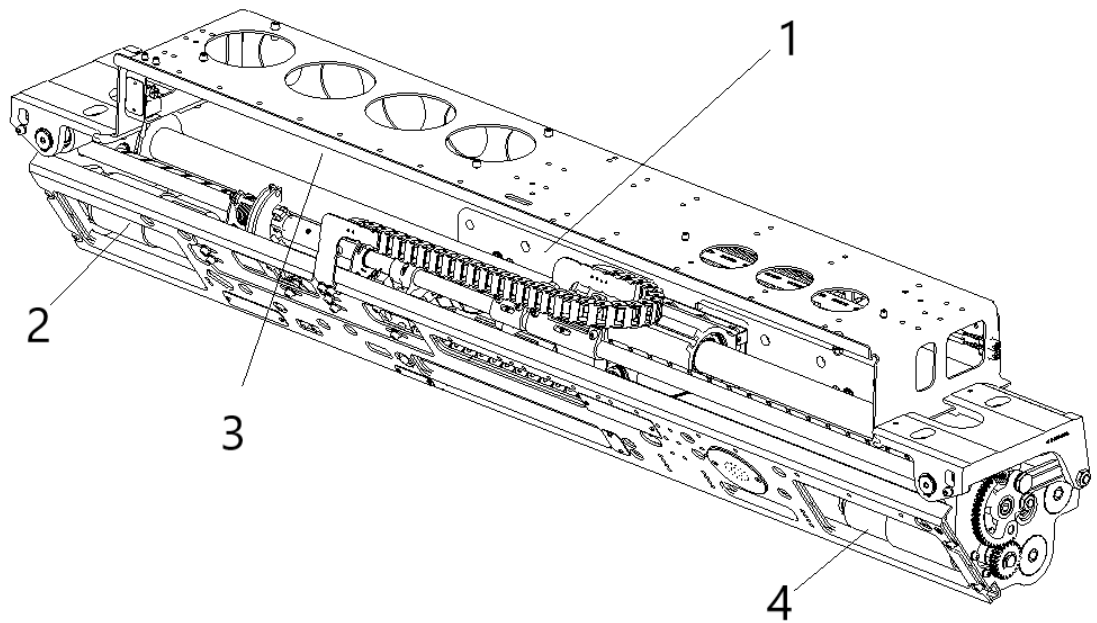
Kuva 6. Räjätyskuva Jokerin (Ultimaten) yksilehtisestä ovijärjestelmästä.

Kuvassa 7 on numeroituna kaksilehtisen ovijärjestelmän pääosat, ja kuten voidaan nähdä, periaate on samanlainen kuin yksilehtisen osalta. Numero 1 on ovikoneisto, jossa sijaitsee ovea liikuttelevat osat ja DCU. Numero 2 on merkitty ovilehden kannake, jonka avulla voidaan muun muassa säätää ovilehteä. Numero 3 on pystytanko. Numero 4 on merkitty kaksilehtisen oven toinen ovilehti. Ovilehdestä löytyvät avauspainikkeet sisä- ja ulkopuolelta – toisin kuin yksilehtisessä kaksilehtisessä on sisä- ja ulkopuolella kaksi painiketta, jotka ovat tavallinen avauspyyntöpainike, eli avaa-painike, ja lastenvaunu-painike. Avaa-painikkeella ovelle on 3 sekunnin sulkuviive, kun lastenvaunu-painikkeella sulkuviive on 20 sekuntia. Lastenvaunu-painike toimii myös E-moduulissa kallistuspyyntönä, eli sitä painamalla kuljettaja saa tiedon, että raitiovaunun E-moduulia pitää kallistaa, jolloin liikuntarajoitteisen tai lastenrattaiden työntäjän on helpompi siirtyä vaunun kyytiin. (Palmetshofer 2019b, s. 21)



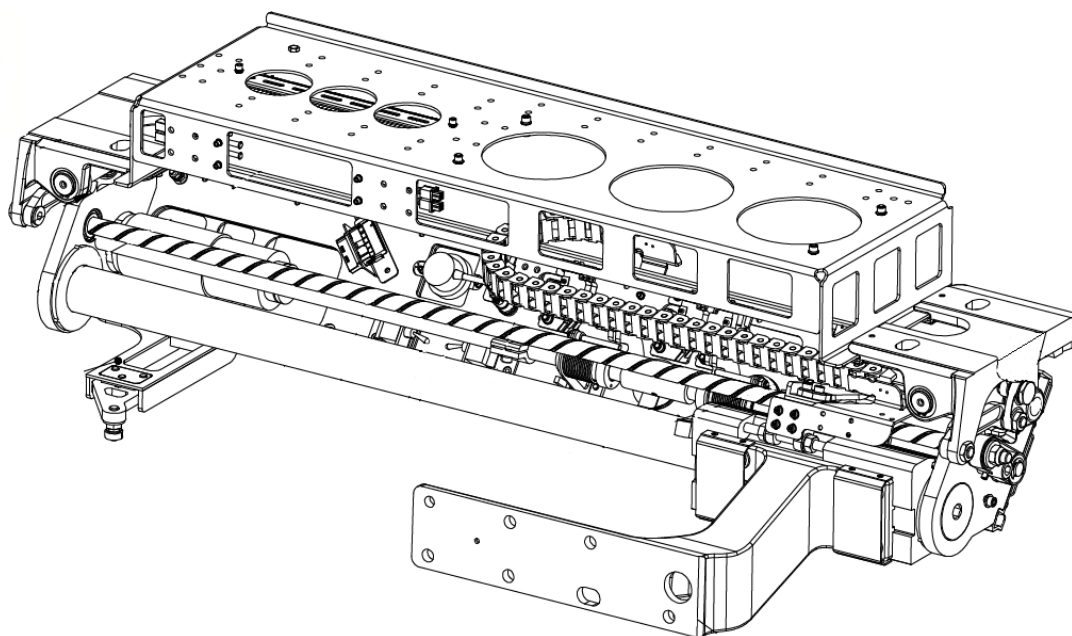
Kuva 7. Räjätyskuva Jokerin (Ultimaten) kaksilehtisen ovijärjestelmästä.

Kuvassa 8 on näkyvissä kaksilehtisen oven Ultimaten ovikoneistosta piirustus, jossa ovikoneiston tärkeimmät osat ovat näkyvissä. Ovikoneiston pääperiaate on yksi- ja kaksilehtisissä ovissa samanlainen. Kuvassa on merkitty numerolla 1 ovilehden kannatin, joka kiinnittää ovilehden ovikoneistoon. Numeroilla 2 ja 4 on merkitty ovikoneiston tulppa- ja liukuliikemoottorit. Numero 3 osoittaa kohtaa, jossa ovijärjestelmää ohjaava DCU sijaitsee.



Kuva 8. Kaksilehtisen oven Ultimaten ovikoneisto.

Kuvassa 9 on esitetty yksilehtisen oven Ultimaten ovikoneisto. Yksilehtisen ja kaksilehtisen ovikoneistot eivät eroa juurikaan sisällöltään toisistaan, vaan sieltä löytyvät samat osat. Kuvassa ovikoneisto on esitetty toisesta suunnasta, jolloin esimerkiksi ovikannake on näkyvässä oikealla alakulmassa.



Kuva 9. Yksilehtisen oven Ultimaten ovikoneisto.

DCU on suunniteltu ja valmistettu ohjaamaan kaikkia oven toimintoja, ja sitä voidaan käyttää joko paikallisesti tai kauko-ohjattavana (Palmetshofer 2019a, s. 20). Se on alumiinista tehty, pituudeltaan 455 mm, syvyydeltään 160 mm ja korkeudeltaan 66 mm kokoinen laatikko, joka painaa 3,55 kg. Siitä löytyy 2-numeroinen 7-segmenttinäyttö diagnostiikkakoodien ja tilatietojen ilmoittamista varten. Näytön korkeus on 10 mm ja se on punainen. DCU:ssa on Ethernet-liitäntä, jonka avulla siitä voidaan ladata diagnostiikkainformaatio esimerkiksi tietokoneelle. (Jakob 2020a, s. 4-5)

DCU säilyttää kaiken diagnostiikkadatan haihtumattomaan muistiin, mikä takaa datan säilymisen esimerkiksi sähköjen katketessa. DCU tallentaa diagnostiikkakoodin lisäksi ovisyklilaskurin arvon vian ilmetessä, kaikkien tulojen ja lähtöjen tilan 5 sekuntia ennen ja jälkeen vian ilmenemisen, oven tila (onko ovi suljettu ja lukittu, hätätilassa, esteitä jne.) ja päivämäärä tai aikaleima. (Jakob 2020a, s. 10)

Vikadiagnostiikka on priorisoitu DCU:n tasolla, prioriteettiryhmiä on kolme. A on suuri vika, jolloin turvallisuus on vaarannettu, ovi tulee eristää välittömästi, jos se ei onnistu, tulee raitiovaunu evakuoida, varikolla tulee tehdä tarkastus. B on keskikokoinen vika, jolloin turvallisuus ei ole suoraan vaarannettu, mutta ovijärjestelmä ei toimi oikein, mahdollisuus uudelleenaktivoida ovi, mutta jos se ei korjaa ongelmaa, tulee ovi eristää, ja ajo tapahtuu normaalisti, vika tarkastetaan varikolla. C on pieni vika, jossa turvallisuus ei ole ollenkaan uhattuna, ovijärjestelmässä voi olla jotain häiriötä, mutta ei tarvetta eristykselle, ovi tarkastetaan seuraavan huollon yhteydessä. (Jakob 2020a, s. 26)

Tulppa- ja liukuliikemoottorit ovat identtisiä DC-moottoreita, joissa on planeettavaihteisto. Moottorit mahdollistavat oven tulppa- ja liukuliikkeet. Kummastakin moottorista löytyy sijaintianturi (enkooderi), joka ilmoittaa oven asennon DCU:lle. (Palmetshofer 2019a, s. 14)

Ovijärjestelmä toimii niin, että DCU vastaanottaa avaussignaalin kuljettajalta tai ovilehden painikkeelta, jolloin järjestelmä tarkistaa aivan ensimmäisenä ”Nopeus < 3 km/h” –signaalin. Tällöin järjestelmä ohjaa virtaa oven tulppaliikkeen moottorille, joka kääntää hammassegmenttiä (näkyvissä kuvassa ovikoneiston oikeassa päädyssä) vaihdelaatikon avulla. Tämä segmentti on kytketty tulppaliikkeen akseliin, ja akseli tuottaa oven avausliikkeen (tulppaliikkeessä työntää oven rungosta pois päin). Liukuliikemoottori taas liu’uttaa oman kierreakselinsa ja lineaarilaakerin välityksellä niin, että ovet auetessaan liukuvat vaunun suuntaisesti. (Palmetshofer 2019a, s. 6)

2.6.3 Ultimaten asennus

Ensimmäisenä tulee tarkistaa vaunun rungon kulkuaukkojen mitat. Kulkuaukko ei saa poiketa huomattavasti muodoltaan suorakaiteesta, koska silloin oven toiminta häiriintyy. Aukon ristimitan enimmäistoleranssi on ± 4 mm.

Kulkuaukon mitat tarkastetaan luotilangalla ja mittaukseen tarkoitettulla välikappaleella. (Brandner 2019a, s. 16-17)

Kun kulkuaukon mitat on tarkistettu, asennetaan tiivistelistat paikoilleen. Sijainnit varmistetaan piirustusten mukaan. Tiivisteet kiinnitetään runkoon kuusiokoloruuveilla, joustolaatoilla ja aluslevyillä. Kiristykset tapahtuvat ohjeiden mukaan. Ensimmäisenä asennetaan ylätiivistyslista, minkä jälkeen sivutiivistyslistat. Listat tulee tiivistää Sikaflexillä, jotta ne saavat tarpeellisen suojan. Jos sivutiivistelistöjen mittaustulos ei asetu toleranssiin sisälle, tulee oviaukon leveys tarkistaa.

Seuraavaksi asennetaan ovikoneisto paikoilleen. Se nostetaan paikoilleen trukin avulla kulkuaukon sisäpuolelle. Se kiinnitetään neljällä kuusiokoloruuvilla, neljällä joustolaatalla ja neljällä aluslevyllä. Vaunun rungossa olevien kannakkeiden ja ovikoneiston väliin laitetaan viisi säätölevyä kumpaakin ovikoneiston pätyyn. Säätölevyjä voidaan poistaa tai lisätä, jos ovikoneiston korkeutta halutaan säätää. Syvyyttä säädetään ovikoneiston kiinnitysosissa olevien reikien avulla. Ovikoneiston tulee olla yhdensuuntainen tiivistyslistan kanssa. (Brandner 2019a, s. 19-25)

Ovikoneiston jälkeen asennetaan oven pilaritangot. Ensimmäisenä ovikoneisto tulee olla ”kiinni ja lukittu” –asennossa. Pilaritankojen kiinnitysosat kiinnitetään kulkuaukkoon kuusiokoloruuveilla, aluslevyillä ja joustolaatoilla. Jokaisen kiinnittimen ja kulkuaukon väliin tulee lisätä 3 kappaletta säätölevyjä. Kuten ovikoneistossakin voidaan pilaritankojen asentoa muuttaa lisäämällä tai poistamalla säätölevyjä.

Tämän jälkeen liitetään pilaritangon kääntövarsi koneiston rullaan nostamalla kääntövarsi rullalle. Rullan ei tule koskea kääntövarren päätä, kun ovi on suljettu, vaan siitä pitää löytyä välys. (Brandner 2019a, s. 27-31)

Ovilehdet asennetaan pilaritankojen jälkeen. Ovikoneiston tulee olla auki-asennossa. Ovilehti nostetaan alemman kääntövarren alaosalle, kun kääntövarren ylempi ohjausrulla on ovilehden kiskolla. Seuraavaksi kiinnitetään ovilehti kannakkeeseen kuusiokoloruuveilla ja joustolaatoilla. Lopuksi kiinnitetään epäkeskomutteri uppokantaruuvilla oven kannakkeeseen. Kiristyksen jälkeen ovilehtien maadoituskaapelit kiinnitetään ovilehtien kannakkeisiin. Ovilehtien liittimet kytketään ovikoneistoon. Koska liittimet ovat erilaisia päidensä takia, niiden kytkeminen väärin on liki mahdotonta. Ovilehden turvareunan kaapelointi viedään ovilehden kuljettimeen ja kiinnitetään esiasennettuihin nippusiteisiin.

Kaksilehtiset ovet linjataan keskenään epäkeskomutterilla niin, että ne ovat samansuuntaiset. Suurin sallittu pystysuuntainen siirtymä näissä ovilehdissä saa olla maksimissaan 1 mm. (Brandner 2019a, s. 29)

Ovijärjestelmät tulee linjata vaunun rungon suhteen. Ovi tulee sulkea käsin ”kiinni ja lukittu” –asentoon, jolloin ovi on täysin kiinni. Tämän jälkeen suorakulmain asetetaan oven ulkopuolelle ja tarkistetaan, että ovilehti on linjassa vaunun rungon kanssa sekä ylhäältä että alhaalta. (Brandner 2019a, s. 43)

Kaksilehtisen oven ollessa suljettu, ovipaneeleiden reunojen etäisyys toisistaan ei saa ylittää 2 mm. (Brandner 2019a, s. 47)

Kun kaikki säädöt ovat tehty ja asennus suoritettu, tehdään lopuksi vielä tärkeimpien säätöjen lopputarkastusta. Tähän kuuluu vapaan kulkuaukon leveyden tarkastaminen. Sen arvo tulee olla kaksilehtisessä ovesa 1300 mm (+15/-0 mm). (Brandner 2019a, s. 55)

Yksilehtisen oven vapaan kulkuaukon leveys taas tulee olla 785 (+0/-15 mm). Jos toleranssit ylitetään, tulee asennukset tarkistaa uudestaan. (Brandner 2019b, s. 52)

Vapaan kulkuaukon leveydet tulee olla toleranssien sisällä, jotta ovijärjestelmä toimii asianmukaisesti. Näiden lisäksi tulee kiristää ovikoneiston ja ovipilarien kiinnitysruuvit oikeaan väntömomenttiin. Hätäavauskahvan asentaminen tapahtuu näiden vaiheiden jälkeen. (Brandner 2019a, s. 55-56)

Ovijärjestelmien asentamiseen kuuluu myös sähkökomponenttien asennus. DCU asennetaan ovikoneistoon kusikoloruuveilla ja joustolaatoille. Liittimien kytkennässä on otettu huomioon se, ettei niitä voi kytkeä väärin, sillä pistokkeilla on erilaisia kaapelipituuksia ja vientejä. (Brandner 2019a, s. 74)

Oven toiminnan kannalta on erityisen tärkeää kiinnittää liitinten johdinsilmukat ja kaapelit siten, ettei liitinten liitoksiin kohdistu mekaanista rasitusta. Ne eivät saa roikkua alaspäin, koska ovijärjestelmän liikkuvat osat voivat vaurioittaa niitä. (Brandner 2019a, s. 76)

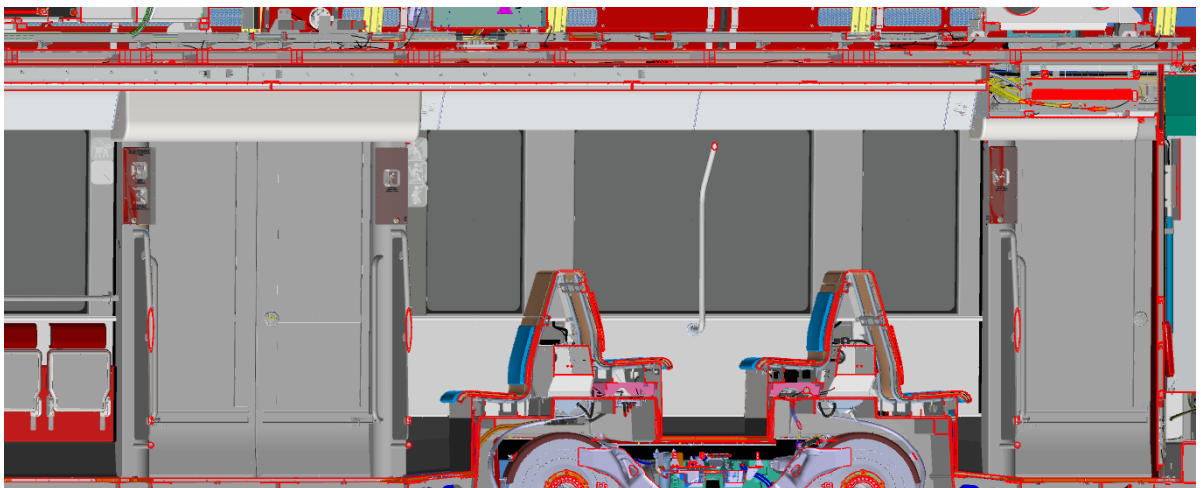
2.6.4 Tamware

Tamwaren ovijärjestelmä painaa kaksilehtisenä 187,1 kg ja yksilehtisenä 121,7 kg, kummatkin painot voivat vaihdella +/-2% näistä arvoista. (Tamware 2019a, s. 11)

Oviaukon leveys vaunun rungossa yksilehtisellä on 974 mm (+5 mm) ja kaksilehtisellä 1559 mm (+5 mm). Valmiissa vaunussa vapaan kulkuaukon leveydet ovat yksilehtisellä 800 mm ja kaksilehtisellä 1300 mm. Rungon oviaukossa kummankin korkeus on 2236 mm (+5 mm). Kummankin oven oviaukon vapaan kulkuaukon korkeus valmiissa vaunussa on 2000 mm. (Tamware 2019a, s. 5)

Ovien materiaalina on käytetty alumiinia ja lasia. Niiden muotoilussa on otettu huomioon se, että ne mukailevat raitiovaunun kylkien muotoja. Tiivisteissä on käytetty standardia EN 45545 noudattavaa paloturvallista EPDM-kumia. Ovista löytyvät ulkoiset ja sisäiset ”oven avaus” –pyyntöpainikkeet. Kaksilehtisessä ovenssa painikkeet sijaitsevat oikealla lehdellä vaunun sisältäpäin katsottuna. (Tamware 2019a, s. 8)

Kuvassa 10 on näkyvissä Tamsa sisäpuolelta. Kuva on A-moduulista, josta löytyy niin yksi- että kaksilehtiset ovet. Kummankin oven yläpuolelta löytyvät ovikoneistojen kotelot, jotka avataan samalla tavalla kuin Ultimatussa eli kolmioavaimella. Ovien ympäröivissä paneloinnissa on hätäavauskahvat (ja niiden merkinnät) ja hätäuloskäynninmerkinnät.

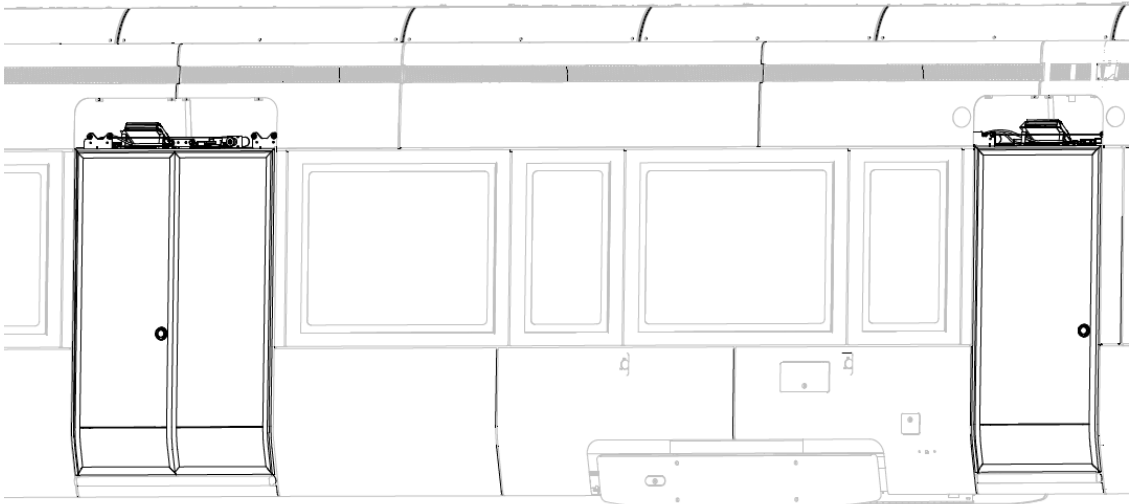


Kuva 10. 3D-mallin leikkauskuva Tamsan sisäpaneloinnista.

Ovijärjestelmistä löytyy hätäavauskahvat, jotka asennetaan sisällä jokaisen oven ja ulkona jokaisen yksilehtisen oven viereen. Myös jokaisessa ovilehden reunasta löytyy tunnistereuna, joka havaitsee mahdollisen esteen oven sulkeutuessa. (Tamware 2019a, s. 9)

Jokainen ovijärjestelmä on varusteltu DCU:lla, ja jokainen ovijärjestelmän elektroninen järjestelmä on yhdistetty DCU:iin. (Tamware 2019a, s. 10)

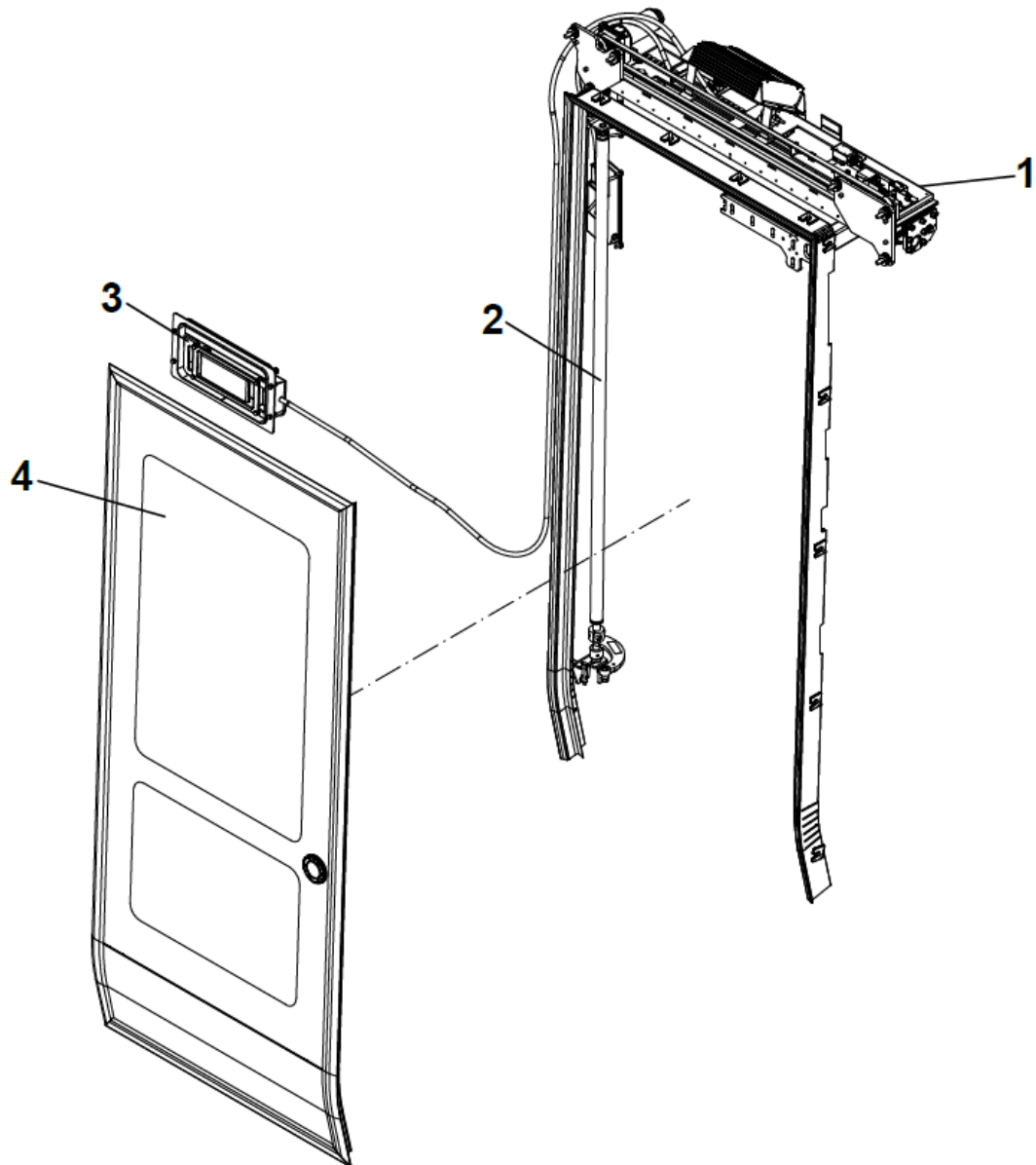
Kuvassa 11 on näkyvissä yksinkertaistettu piirustus Tamsan A-moduulin ulkopuolesta ovijärjestelmineen. Kuvassa ei ole näkyvissä ulkopuolen hätäavauskahva, joka sijaitsee yksilehtisen oven vasemmalla puolella kuvassa näkyvän ylemmän luukun takana – sijainti on sama kuin Ultimatussa (kuva 5).



Kuva 11. Yksinkertaistettu piirustus Tamsan rungosta ja Tamwaren ovijärjestelmästä.

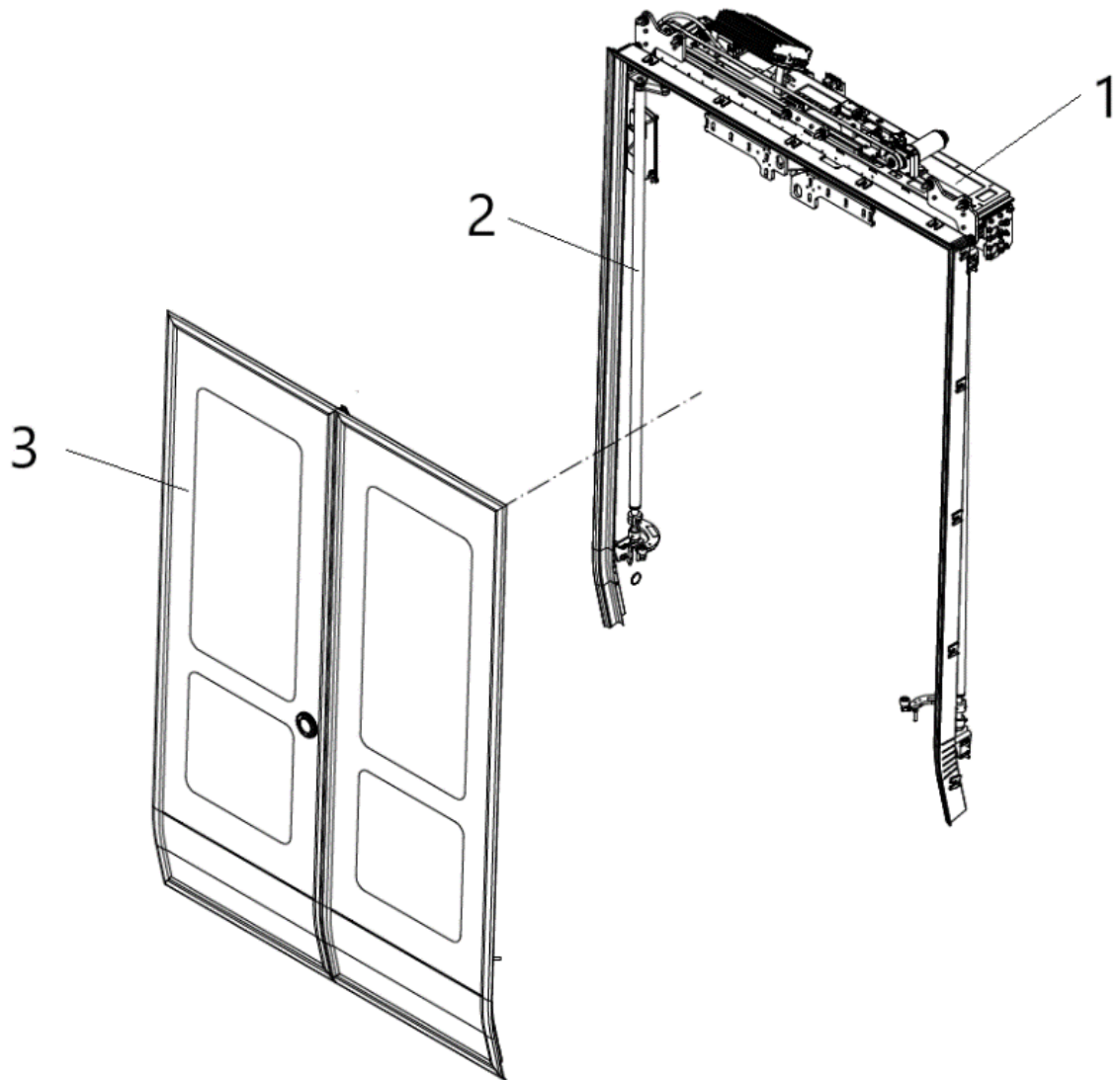
Kun Ultimate on varusteltu niin tulppa- ja liukuliikemoottoreilla, on Tamwaren ovijärjestelmässä käytössä moottori ja hihna, joiden avulla oven tulppa- ja liukuliike tapahtuvat. Hihna liikuttaa ovilehden kannaketta. Ovilehden kannakkeessa on tappi, joka liikkuu J-mallisen kiskon sisällä. (Tamware 2019a, s. 6)

Kuvassa 12 on räjäytyskuva Tamsan yksilehtinen ovijärjestelmä. Olennaisimmat osat ovat merkitty numeroilla, jotka ovat 1 ovikoneisto, 2 oven pystytanko, 3 hätäovenavauskahva (ulkopuoli) ja 4 ovilehti. Pystytangon lähettyvillä on nähtävissä myös sisäpuolen hätäavauskahva.



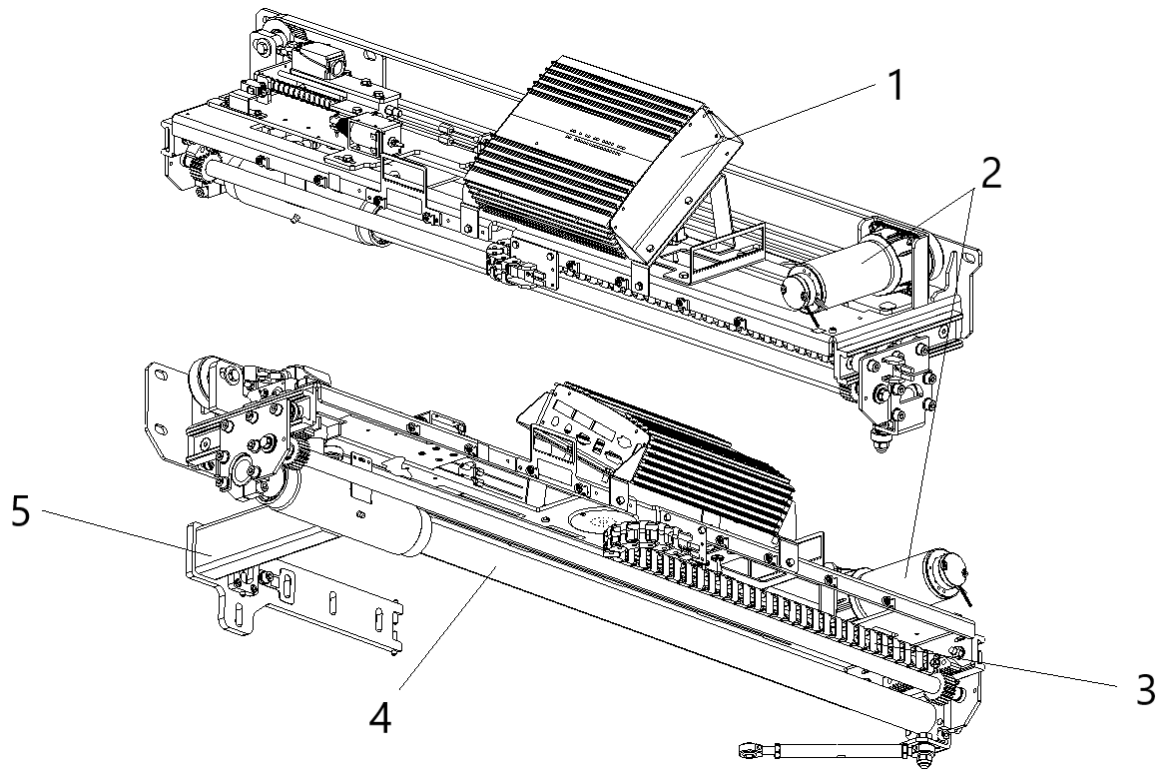
Kuva 12. Räjäytyskuva Tamsan (Tamwaren) yksilehtisestä ovijärjestelmästä.

Kuvassa 13 on kuvattu Tamsan kaksilehtinen ovijärjestelmä. Numeroituna ovat kohdat 1 ovikoneisto, 2 pystytanko ja 3 ovilehdet. Periaate on samanlainen kuin Ultimaten ovijärjestelmissä. Kuvassa on näkyvissä myös pystytangon lähettyvillä sisäpuolen hätäavauskahva.



Kuva 13. Räjätyskuva Tamsan (Tamwaren) kaksilehtisestä ovijärjestelmästä.

Kuvassa 14 on Tamwaren kaksilehtisen oven ovikoneisto kahdesta eri näkymästä. Alempi on ovikoneisto alakulmasta ja ylempi yläkulmasta katsottuna. Numeroituna ovat 1 DCU, 2 moottori, 3 hihna, 4 liukujohde ja 5 ovilehden kannatin. Verrattuna Ultimaten ovikoneistoon, Tamwaren koneisto on hieman yksinkertaisempi.



Kuva 14. Tamwaren ovikoneisto (ylhällä ovikoneiston yläosa, alhaalla ovikoneisto alta).

2.6.5 Tamwaren asennus

Asennus alkaa samalla tavalla kuin Ultimaten ovijärjestelmässä. Ensin tarkastetaan, että oviaukon mitat ovat toleranssien sisällä. Tämän jälkeen alumiiniset listat asennetaan käyttäen asennukseen tarkoitettuja työkaluja, joilla saadaan listat oikeisiin asentoihin. Listoihin asennetaan tiivistelistat käyttäen kumivasaraa. (Tamware 2020b, s. 5-6)

Seuraavana asennetaan ovikoneisto. Ovikoneiston asentoa voidaan säätää simmilevyjen avulla. Niiden määrää vaihtamalla saavutetaan oikeat mitat. Ovikoneisto asennetaan

kiinni koriin kiinnitettyyn kiinnikkeeseen M10-ruuveilla ja -aluslevyillä. (Tamware 2020b, s. 7)

Tämän jälkeen asennetaan pilaritangot, jotka kiinnitetään M8-ruuveilla. Simmivälyjä lisäämällä tai poistamalla voidaan vaikuttaa tankojen asentoihin, jotta ovilehdet saadaan asennettua oikein. Tangot kiinnitetään ensin runkoon, minkä jälkeen ovikoneistoon. Huomioitavana on se, että yksilehtisen ja kaksilehtisen ovien kiinnitykset eroavat hieman toisistaan. Yksilehtisessä ovesta ruuvi kiinnitetään ylhäältä päin, eli mutteri sijaitsee alimmaisena. Kaksilehtisen oven kohdalla taas ruuvi kiinnitetään alhaalta päin, jolloin mutteri on päällimmäisenä. (Tamware 2020b, s. 9-10)

Pilaritankojen asentamista seuraa ovilehtien asentaminen. Ensimmäisenä tulee irrottaa tukitangon alaosan vipu eli osa, jonka avulla ovi kiinnittyy tankoon. Ovilehden asennuksessa ovilehteä tulee tukea alhaalta päin tukilevyn avulla, tämä helpottaa sähköasennusten suorittamista. Ovilehti kiinnitetään ovikannakkeeseen, jolloin samalla suoritetaan sähköasennukset. Ovea säädellään manuaalisesti, jotta se asettuu mittojen mukaan. Tukitangon alaosan vipu kiinnitetään oveen, minkä jälkeen vipu kiinnitetään takaisin tukitankoon. Näiden jälkeen ovi avataan täysin ja sitten suljetaan manuaalisesti, samalla tarkastaen, ettei mikään vaikuta liikkeeseen negatiivisesti. Kun tämä on suoritettu, tarkastetaan vielä, että lukituspinnit ovat säädetty oikein, jotta ovi lukittuu kiinni-asennossa. (Tamware 2020b, s. 11-18)

Seuraavaksi asennetaan hätäjärjestelmä. Hätäavauskahvan vaijeri tulee kiinnittää huolellisesti paikoilleen, oikeiden mittojen mukaan. Tulee huomioda, ettei vaijeri taivu liikaa. Vaijerin toinen pää tulee asentaa hätäavauskahvan koteloon ja toinen pää ovikoneistoon. Vaijeri kiristetään niin, että hätäavauskahva aukeaa esteittä 75-80 mm, minkä jälkeen ovi avautuu kahvaa käyttäen manuaalisesti. (Tamware 2020b, s. 19-20)

Näiden jälkeen suoritetaan lopulliset sähköasennukset. DCU:n päävirtakytkin tulee olla OFF-asennossa ja oven tila ”Pois käytöstä.” Kun virta on pois, voidaan suorittaa kaikki tarpeelliset ovijärjestelmän sähköasennukset sähkökaavion mukaan. Kun asennukset on suoritettu ja kaikki ovijärjestelmän osat ovat asennettu, tulee vielä tarkistaa, ettei oven edessä ole mitään esteitä, kun sitä avataan ja suljetaan manuaalisesti. Tämän jälkeen

voidaan kytkeä virta ja palauttaa oven tila takaisin käyttöön. Ovijärjestelmä on valmis käytettäväksi, mutta siitä puuttuu avausliikkeen rajat. Täten DCU:n tulee suorittaa opetustila (kuten aina päävirtakytkimen sulkemisen ja avaamisen jälkeen), Tässä tilassa ovijärjestelmä liikkuu hitaasti hakien ääriasentonsa. Kun tämä on suoritettu, ovi on valmis käyttöön. (Tamware 2020b, s. 22-23)

Asennusohje sisältää vielä hienosäätöohjeet. Näitä säätöjä ei tule tehdä muuten kuin tarpeen vaatiessa, eli ovijärjestelmän toimintaa tulee seurata, ja jos havaitaan tarvetta säädöille, voidaan ne suorittaa. Näihin säätöihin kuuluvat niin ohjaisrullien, tulppa- ja liukuliikkeiden, oven lukituksen ja hätäjärjestelmän säädöt. (Tamware 2020b, s. 24-28)

2.7 MDBF-arvo

Ovijärjestelmille on annettu MDBF-arvo (mean distance between failures), eli keskimääräinen vikojen välinen etäisyys. Tämä arvo on käytössä raitiotiejärjestelmässä. Sillä ilmaistaan järjestelmän luotettavuus. On olemassa lisäksi MTBF-arvo (mean time between failures) eli keskimääräinen vikojen välinen aika. (City University of Hong Kong 2017)

Työn eräs tärkein suunnannäyttäjä on MDBF-arvon parantaminen. Pohjana käytetään Articin ovijärjestelmän MDBF-arvoa, joka on tällä hetkellä noin viidesosa sovitusta arvosta. Sopimusvaatimuksessa on kirjattu X km. Sama arvo löytyy myös Jokerin sopimuksesta.

HKL:n ja Transtechin välisessä sopimuksen liitteessä sivulla 17 kerrotaan, että jos vika vaatii laitteen sammuttamista tai resetointia, lasketaan vika vikaväliseurantaan, eli se vaikuttaa juurikin MDBF-arvoon. Sopimuksessa tämä arvo on määritelty vähintään X km ovien toiminnan ja ohjausjärjestelmän osalta, pois lukien ajopöydän komponentit. Samaisessa sopimuksessa sivulla 15 eritellään raitiovaunun linjakelpoisuusehdot. Vikoja kutsutaan toimintavarmuusvirheiksi, jotka ryhmitellään kolmeen ryhmään. Ensimmäisen ryhmän viat ovat kriittisimmät, ja tällöin raitiovaunua ei saa ajaa varikolta lähtöpysäkille, ja jos vika ilmenee kesken ajon, tulee vaunu tyhjentää matkustajista ja vaunu tulee poistaa mahdollisimman pian pois käytöstä. Kakkosryhmän vian ilmetessä raitiovaunua ei saa

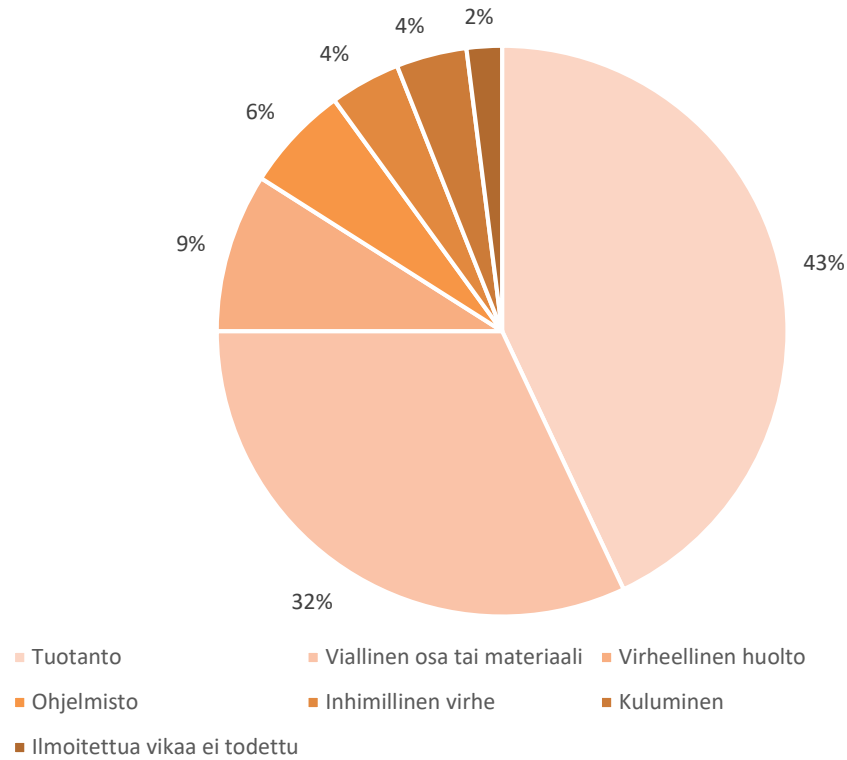
ajaa varikolta lähtöpysäkillä, ja liikenteessä ollessa vaunu saa lähteä lähtöpysäkiltä, mutta se on poistettava käytöstä mahdollisimman pian. Kolmannen ryhmän viat eivät ole vakavia, ja ajoa voidaan jatkaa siihen asti, että vaunu on mahdollista korvata toisella, vika tai puute tulee korjata viimeistään vuoropäivän päätyttyä. Lisäksi on mainittu, että jos yksikin ovi tai vaunun koko sivu on lukittu pois käytöstä, kuuluu toimia kakkosryhmän mukaisesti. Jos taas yksikin sivuvista ei toimi automatiikkakäytöllä, eli kuljettaja joutuu sulkemaan oven sähköisesti turvalaitteet ohitettuina, kuuluu toimi kolmosryhmän mukaan. (HKL 2016)

2.7.1 MTBF- ja MDBF-katsaus Articissa

Articista on tehty eri vuosina MTBF- ja MDBF-katsauksia, joiden avulla jaotellaan vikojen syitä ja seurauksia. Aikavälillä 4/2018-5/2020 MDBF-arvo ovien 441-460 toiminnassa ja ohjausjärjestelmissä oli noin puolet vaaditusta arvosta. Aikavälillä 5/2019-5/2020 vaunujen 461-470 toteutunut arvo oli vajaa kuudesosa sovitusta arvosta. Jos arvo ei toteudu, HKL vaatii järjestelmän korjaamista niin, että arvot voidaan saavuttaa. Transtechin tehtävänä onkin täten analysoida ongelmat ja tehdä tarvittavat muutokset. Vuoden 2020 vikadataa tullaan käsittelemään kappaleessa 3.4 laajemmin.

Näiden katsauksessa havaittujen vikojen syiksi ovissa 441-460 oltiin havaittu enimmäkseen joko tuotannosta johtuvia, joita oli jopa 43%, tai viallisesta osasta tai materiaalista johtuvia, joita oli 32%. Tuotannossa tapahtuvat syyt koskivat yleensä asennuksien laiminlyöntejä, vääriä säätöjä tai poikkeamia. Vialliset osat ja materiaalit taas saattoivat olla joko suunnittelun, tuotannon tai luontaisen kulumisen aiheuttamia vikoja. Näiden lisäksi vikojen syiden taustalla olivat virheellinen huolto (9%), ohjelmisto (6%), inhimillinen virhe (4%), kulumisen (4%) tai ilmoitettua vikaa ei todettu (2%). Virheelliseksi huolloksi luetaan se, että toteutus ei ole oikeanlainen tai huoltovälit eivät noudata vaadittuja aikavälejä. Ohjelmistoon kuuluvat viat olivat ohjelmistovika tai version vanhentuminen. Inhimilliset virheet ovat käyttäjästä johtuvia virheitä tai virheellistä huolto-ohjeiden noudattamista. Kulumiseen kuuluvat loppuun kuluvat osat, jotka voivat olla laakereita, kytkinkomponentteja tai vaimentamia. Ilmoitettua vikaa ei todettu tarkoittaa sitä, että vikatarkastuksessa ilmoitettua vikaa ei löydetty.

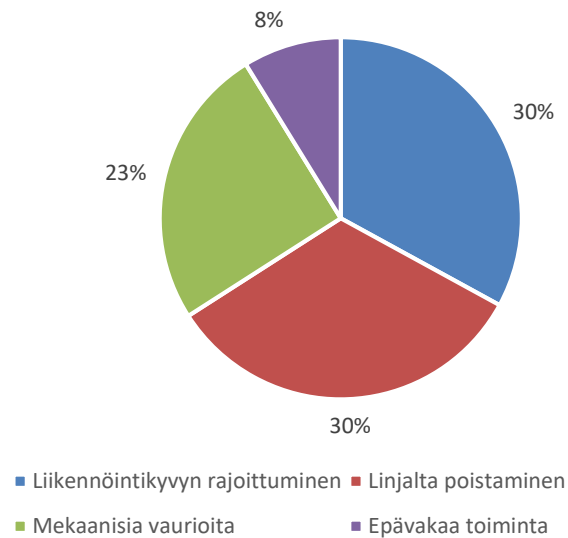
Kuvassa 15 on esitetty edellä mainitut viat kaavion muodossa. Alareunasta löytyy värien merkitykset.



Kuva 15. Vikojen jakaantuminen.

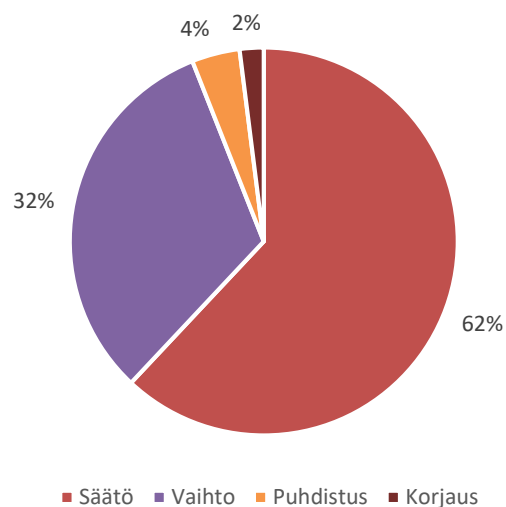
Nämä viat ovat aiheuttaneet liikennöintikyvyn rajoittamista (30%), mutta myös linjalta poiston varotoimena (30%). Vioista on myös johtunut mekaanisia vaurioita (23%) ja epävakaata toimintaa (8%). Korjaustoimenpiteinä on pitkälti riittänyt säätö (62%) tai vaihto (32%). Osassa tapauksessa riitti puhdistus (4%) tai piti korjata (2%).

Kuvan 16 kaaviossa on esitetty, mitä seuraamuksia viat ovat aiheuttaneet, ja miten ne ovat jakautuneet. Alareunassa värien selitykset.



Kuva 16. Vikojen seuraamukset.

Kuvassa 17 on esitetty kaaviolla, miten korjaustoimenpiteet jakaantuivat. Alareunasta löytyy selitykset väreille.



Kuva 17. Vikojen korjaustoimenpiteet.

3 OVIJÄRJESTELMÄN VIKOJEN TUTKIMINEN

Tämä kappale paneutuu ovijärjestelmien vikoihin käytännön ja olemassa olevan datan avulla. Apuna on käytetty sekä asentajien ja suunnittelijoiden tietoa, raitiovaunuista saatua vikadiagnostiikkadataa että ylös kirjattuja vikatietoja. Tutkimukseen liittyy myös tehtaalla vierailu ja täten raitiovaunuihin kunnollista tutustumista, mutta myös tehtaalla tehty testi, joka on osa tätä diplomityötä.

3.1 Aineisto

Ainestoa on kerätty keskustelemalla asentajien ja suunnittelijoiden kanssa, mutta myös tutkimalla olevassa olevaa dataa Transtechin tietokannasta eli Leanista.

Otanmäen tehtaalla selvisi, että ovijärjestelmiä on pitänyt säätää niin noston ja testiajojen jälkeen. Raitiovaunu voidaan joutua nostamaan esimerkiksi huollon yhteydessä, raitiovaunusta löytyy nostokohdat, joiden avulla voidaan nostaa siihen tarkoitetuilla nostimilla. Tehtaalla nostojen yhteydessä voidaan suorittaa erilaisia tyyppitestejä, kuten työn aikana suoritettiin, mistä kerrotaan seuraavassa kappaleessa. Myös raitiovaunun kuljettamisen Otanmäestä Helsinkiin jälkeen on tullut kommenttia siitä, että ovia ei ole säädetty ollenkaan, vaikka todellisuudessa ovijärjestelmät säädetään tehtaalla tarkasti niin, että ne ovat täysin toimintakunnossa. Tämä kielii siitä, että rungossa tapahtunee liikettä, joka vaikuttaa ovien asentoon. On havaittu, että esimerkiksi ovilehdet eivät ole enää pystysuunnasta katsoen tasossa siirron jälkeen. Lisäksi noston jälkeen on havaittu muun muassa sellaista, että kaksilehtisen oven asennukset olivat menneet vääränlaiseksi, sillä kaksilehtisen oven toinen ovilehti avautui virheellisesti niin, että se osui pystytangon alavarren rullaan. Todellisuudessa näiden välillä pitää olla selvä vällys.

Hyvänä vertausesimerkkinä siirtoihin on Transtechin valmistamat ja toimittamat kaksikerrosjunavaunut, jotka kuljetetaan tehtaalta kiskoja kautta määränpäähänsä. Tämä matkana aikana rungossa tapahtuu muodonmuutoksia eli mahdolliset jännitykset laukeavat. Tätä ei tapahdu raitiovaunujen kohdalla, sillä ne kuljetetaan määränpäähänsä

rekka-autoilla lavetin kyydissä. Tällöin mahdolliset jännitykset laukeavat vasta tietyn käyttöajan kuluttua, jolloin esimerkiksi ne vaikuttavat ovisäätöihin.

3.2 Ensimmäinen testi Otanmäen tehtaalla

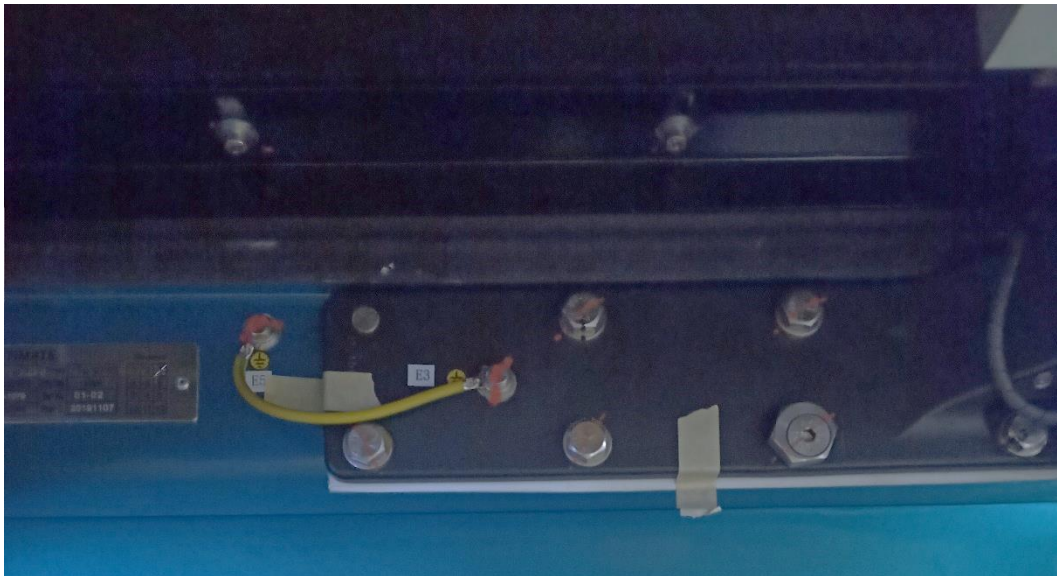
Testi suoritettiin Otanmäen tehtaalla testiä varten tehdyn testisuunnitelman mukaan. Testin tavoitteena oli todeta, että ovijärjestelmässä tapahtuu liikettä noston aikana. Nosto tehtiin Jokerille 25.3.2021 venymäliuskamittauksen yhteydessä.

Testissä käytettiin maalarinteippiä ja merkintätussia, testin kohteena oli B-vaunun kaksilehtiset ja yksilehtiset ovet – eli kaiken kaikkiaan neljä ovijärjestelmää. Kaksilehtiset ovet eivät olleet lukittuina, sillä nostolaitteiden kaapelit kulkivat niiden läpi. Ovet kuitenkin olivat suljettu, eikä niillä ollut mahdollisuutta avautua noston aikana.

Nosto tapahtui Emanuel-nostureilla, jotka ovat sähkökäyttöisiä. Ne olivat jaettu tasaisesti ympäri raitiovaunua sen nostopisteiden kohdalle, jotta nosto tapahtui mahdollisimman tasaisesti. Noston yhteydessä tapahtui myös testiin kuulumaton venymäliuskamittaus, jonka toteuttivat Transtechin omat laskijat.

Ennen nostoa ovet teipattiin ja tehtiin tarvittavat merkinnät. Sisäpuolelle ovilehden kannattimiin teipattiin kaksi teippiä jokaiseen kannattimeen. Kannattimen ruuveihin merkattiin tussilla yhtenäisiä viivoja ruuvien kautta aluslaattaan ja kannattimeen, jotta nähtäisiin, tapahtuuko kannattimissa liikettä.

Kuvassa 18 on nähtävissä kyseiset merkinnät. Kuva on otettu ovilehden yläosasta, ja sininen tausta on ovilehti, kuvan yläosan tumma osa on osittain ovilehden tiivistettä ja listaa, ja keskeemmällä oleva taso on ovilehden kannake, jossa on merkkiteipit.



Kuva 18. Ovilehden kannakkeen teippaukset raitiovaunun sisällä.

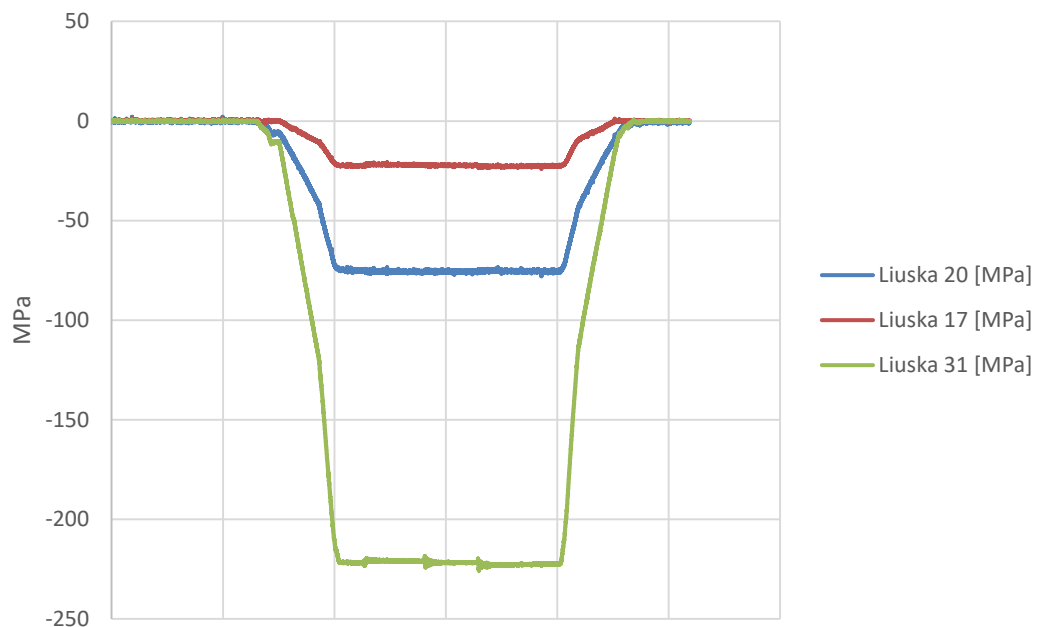
Noston aikana oli näkyvissä, että ulkopuolella ovilehtien ja ulkopaneloinnin väliset teipit liikkuivat. Noston jälkeen teipit olivat asettuneet hieman, mutta niissä oli näkyvissä muutoksia. Sisällä olevista teipeistä tai merkinnöistä ei ollut näkyvissä muutoksia. Venymäliuskamittaukset eivät antaneet merkkiä siitä, että oviaukoissa olisi havaittavissa suuria jännityksiä. Voidaan siis tämän testin mukaan todeta, että rungossa tapahtuu noston aikana liikettä, joka vaikuttaa ovien asentoon ja täten säätöihin. Tästä syystä voidaan olettaa, että raitiovaunun liikehdintä aiheuttaa pahimmassa tapauksessa juurikin ovijärjestelmään muutoksia, jotka vaikuttavat ovijärjestelmän toimintaan.

Kuva 19 on otettu noston jälkeen kaksilehtisen oven teippauksista. Kuten voidaan huomata, teippauksissa on paneloinnin ja ovilehden välillä tapahtunut jonkinlaista liikettä, sillä teippauksissa on näkyvissä kohoumat. Ennen nostoa teippaukset olivat tasaiset.



Kuva 19. Kaksilehtisen oven teippausta noston jälkeen.

Venymäliuskamittausten tuloksista havaittiin, että noston aikana jännitykset kasvoivat, mutta vaunun laskeutuessa takaisin alas jännitykset palasivat nollatasolle. Nosto ei synnyttänyt plastista muodonmuutosta. Kuvasta 20 voidaan nähdä jännitykset ennen nostoa, noston aikana ja noston jälkeen. Liuska 17 sijaitsi A-moduulin oikealla sivulla korin ulkopuolella kaksilehtisen oviaukon viereisessä ikkunan alanurkassa (oven viereinen). Liuska 20 sijaitsi taas samaisella sivulla yksilehtisen oviaukon ikkunan alanurkassa. Liuska 31 sijainti oli korin sisäpuolella kaksilehtisen oviaukon vasemmassa (sisäpuolelta katsottuna) ylänurkassa.



Kuva 20. Venymäliuskamittauksista saadut jännitykset ennen nostoa, sen aikana ja sen jälkeen kolmesta kohdasta.

Tulevaisuutta ajatellen mittaukset voitaisiin suorittaa niin, että oviaukko instrumentoitaisiin siirtymäantureilla ja tarkasteltaisiin oviaukon ristimittaa lankaantureilla, jotta saataisiin parempaa tulosta siitä, tapahtuuko noston aikana elastisia muodonmuutoksia. Jos näitä todennetaan, sen vaikutuksia voitaisiin tutkia ovijärjestelmien kiinnikkeisiin ja rakenteisiin syvällisemmin.

Kysymyksenä voidaankin esittää, ottaako ovijärjestelmä tarpeeksi huomioon rungossa tapahtuvat liikkeet raitiovaunua nostaessa tehtaalla tai huollossa, kuljetuksessa määränpäähän tai itse ajossa. Rungon muodonmuutoksia tulee tarkastella ovien toimivuuden kannalta, ja tietysti myös toisin päin.

3.3 Toinen tehdasvierailu

Asentajien kanssa keskusteltiin ja saatiin arvokasta tietoa. On tärkeä huomata, että ovivikojen syy voi löytyä Transtechilta itseltään tai sitten toimittajalta. Näiden tiedostaminen auttaa puuttumaan kohdistetusti ongelmaan.

Esimerkiksi on huomattu, että toimittaja voi lähettää tavaraa, joka ei ole mitoissa tai ovilehdet ovat aaltoilevia, eli niissä on tasomaisuuspoikkeamaa. Selvästi vialliset tuotteet tietysti lähetetään takaisin, mutta kaikkea ei aina huomata, mikä voi aiheuttaa ovivikoja.

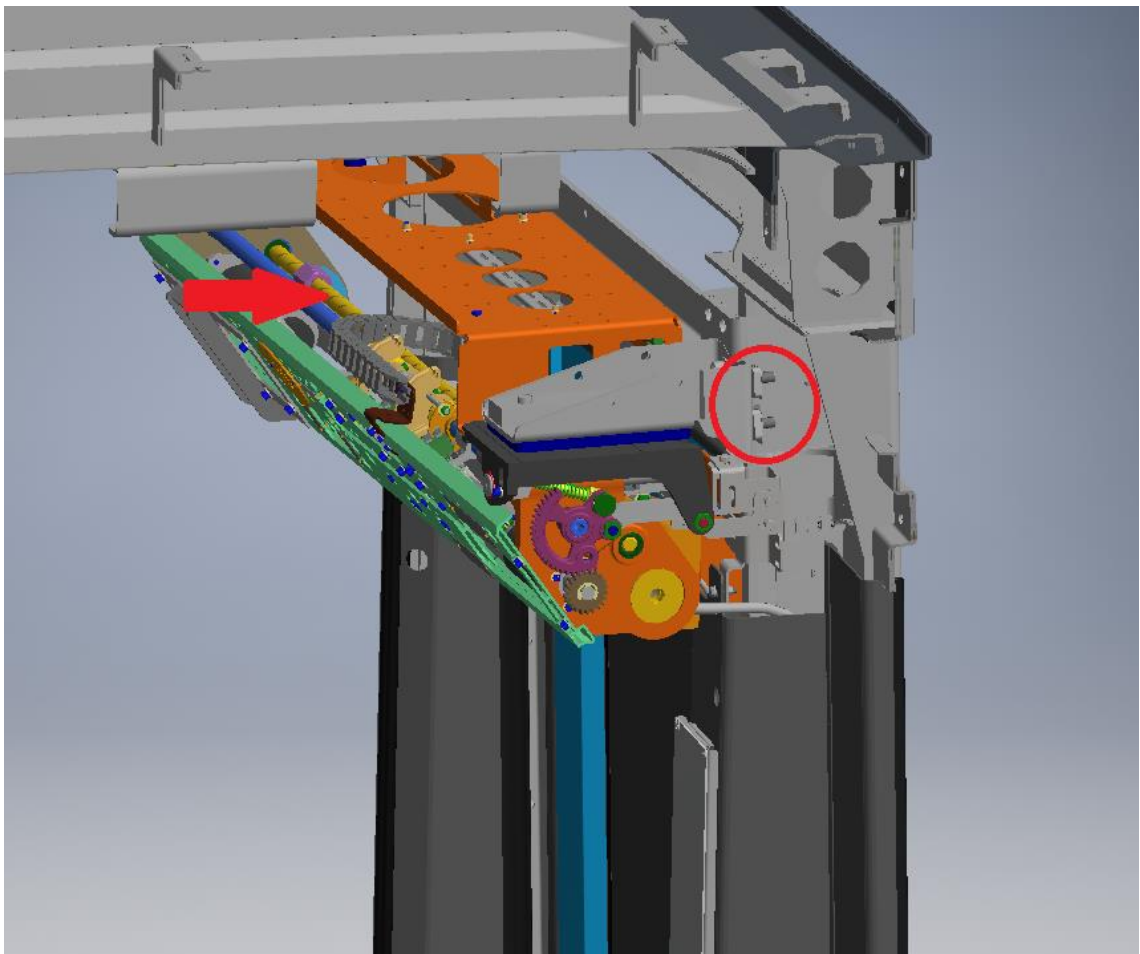
Tamwaren kanssa on toimittu niin, että asentajille on annettu Tamwaren puolelta suhteellisen vapaat kädet. Toisaalta ohjeistettut mitat ovat paikoin viitteellisiä, ja täten ovikohtaisesti niistä voidaan poiketa, kunhan ovijärjestelmän toiminnalliset kohdat toteutuvat, esimerkiksi ovi liikkuu sulavasti, ei törmää ympäröiviin rakenteisiin. Tamware on näyttänyt tälle vihreää valoa. Kuitenkin on huolestuttavaa, että tämä tieto on periaatteessa suusta suuhun siirtyvää tietoa, jolloin asentajien vaihtuessa tieto ei siirry uusille asentajille oikealla tavalla. On tietysti tärkeä huomata, että tiettyjä tehtäviä ei aina voida ohjastaa suoraan kirjallisella asennusohjeella, jolloin tällaiset taidot opitaan pitkälti asennuksen yhteydessä. Siksi tällaisissa tilanteissa on tarpeellista pitää huoli, ettei asennusprosessi ole asentajakohtainen, vaan yleinen ja toimivaksi todettu tapa.

Yksi vaikeuttava tekijä ovien asennuksissa nousi esille, kun tehtaalla oltiin havaittu, että ovien loppuasennuksessa voi olla heittoa vaunun ulkoisten sivupaneelien asennusten takia. Ovien ja vaunujen ulkopaneelien tulee olla linjassa toistensa kanssa, ja tämän saavuttamiseksi joudutaan usein niin sanotusti pakottamaan ovilehdet ja sivupanelointi yhdensuuntaiseksi, mikä aiheuttaa ongelmia, kuten ovijärjestelmä ei mene vesitestissä läpi tai ovi ei mene kiinni, jolloin koko sivu on jouduttu tietyin osin asentamaan uusiksi. Olisikin tärkeä saada siis ulkopaneloinnin asentaminen tarpeeksi joustavaksi, jolloin

ovien asennuksessa ei tarvitse tinkiä. Olisi hyvä pohtia esimerkiksi mahdollisimman väljät toleranssit sivupaneeleiden asennuksiin, tai jo suunnittelussa otetaan huomioon, että ovijärjestelmien ja sivupaneeleiden tulee toimia keskenään.

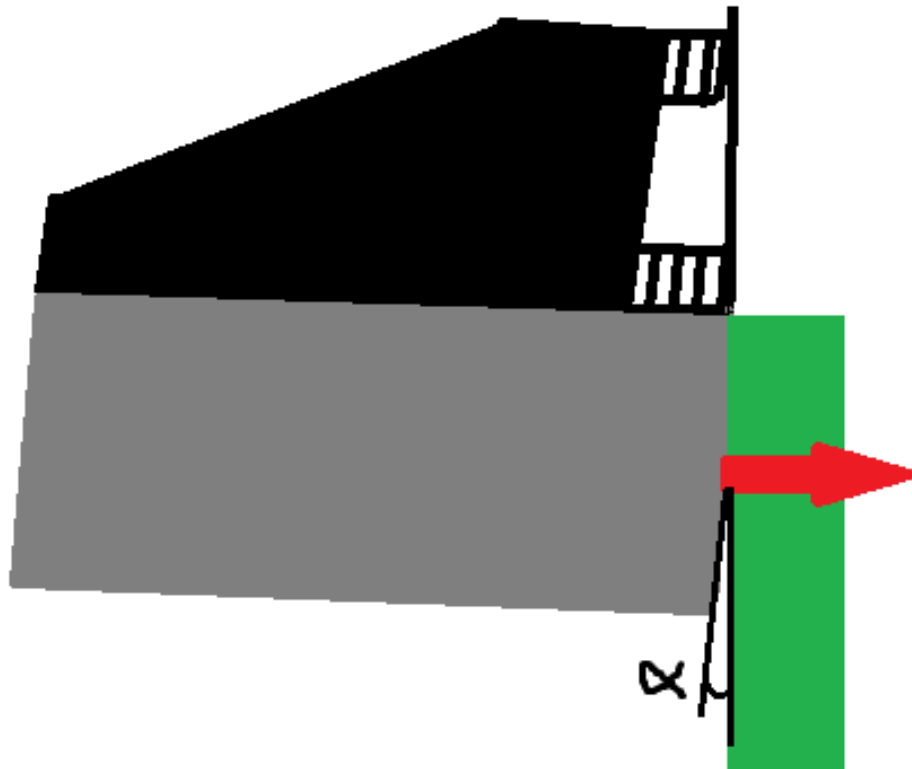
Esille tuli lisäksi se, että yhdessä Articin vaunun ovijärjestelmässä simmilevyjä – ohuita metallilevyjä, joilla ovikoneiston asentoon voidaan vaikuttaa – oli asennettu liikaa koneiston toiseen päähän, jolloin ovikoneiston kierretankoon oli kohdistunut vääntöä, mikä taas aiheutti laakerin kulumista. Tavoitteena oli saada ovilehden asento oikeanlaiseksi. Tämä on hyvä esimerkki siitä, miten vääränlaiset asennukset aiheuttavat myöhemmin vikaa ovien toiminnassa, eikä tällaisia tilanteita pitäisi pystyä syntymään.

Edellä mainittu tilanteen havainnollistamiseksi kuvassa 21 näkyy ovikoneisto ja simmilevyjen sijainti, joka on merkitty punaisella ympyrällä. Punaisella nuolella on merkitty kierretanko, jonka vääntymisen simmilevyjen vääränlainen asennus aiheutti. Punaisen ympyrän sisällä on nähtävissä, kuinka simmilevyjä on kahdessa pinossa ylhäällä ja alhaalla (ovikoneiston molemmissa päädyssä), ympyrän vasemmalla puolen on ovikoneiston kannake. Alempaan pinoon oli laitettu useampi levy kuin ylempään pinoon, jonka takia kannake, ja täten koko ovikoneisto, oli kallistunut.



Kuva 21. Ovikoneiston simmilevyjen sijainti.

Kuvassa 22 on kuvattu tämä vino ovikoneiston kannake (musta osa). Lisäksi kuvassa on esitetty ovikoneisto (harmaa) ja ovilehti (vihreä). Kannakkeen oikealle puolelle on kuvattu, kuinka alempia simmiväyjiä on enemmän kuin ylempänä olevia. Tämä aiheuttaa kannakkeen asennon vinoutumista, mikä myös vaikuttaa ovikoneiston asentoon. Kuitenkin tällä on koitettu saada asennettua ovilehti suoraan, jolloin ovilehden ja ovikoneiston välille jää liian suuri kulma α . Koska ovilehti on ovikoneistossa kiinni omalla kannakkeella, vetää se ovikoneistoa ”suoraksi”, jota on kuvattu nuolella. Tämä taas johti siihen, että kierretankoon, joka osoitettu kuvassa 21, kohdistui vääntöä, jolloin se on keskeltä notkolle.



Kuva 22. Vinon ovikoneiston kannakkeen aiheuttama vääntö oveen.

3.4 Ovijärjestelmien vikadata

Transtechilla on käytössä Lean System –järjestelmä, jonka avulla voidaan tosiaan kirjata muun muassa vikadiagnostiikkaa ylös. Se on käytössä suunnittelussa, tuotannossa ja varikoilla. Tätä työtä varten valittiin kohteeksi Articin ovijärjestelmien vikaantumisdata

vuoden ajalta 1/2020-12/2020. Samalla selvitettiin kyseiseltä aikaväliltä ovijärjestelmien materiaalien vaihdot, mikä tukee vikadiagnostiikkaa.

Kaiken kaikkiaan ajanjaksolta saatiin 146 kappaletta vikailmoitusta ja 62 materiaalin vaihtoa. Vikailmoituksien laatu on hieman puutteellista paikoitellen. Syitä ovat esimerkiksi se, ettei vian havaitsija aina tiedä, mihin tarkalleen ottaen vika kohdistuu. Tämä voi vääristää dataa, sillä havaitsija kirjaa Leaniin nimikkeen kohteeksi sen, mihin uskoo vian kohdistuvan. Tätä ei yleensä muuteta missään vaiheessa, vaikka kuitataankin. Data on täten vaillinaista, ja tämä osittain vaikeuttaa Leanista vian etsimistä.

Seuraavissa kappaleissa käsitellään ensin vikailmoitukset, sitten vikojen jakautuminen eri raitiovaunujen kesken, minkä jälkeen siirrytään materiaalien vaihdoksiin. Materiaalin vaihdossa vertaillaan dataa vikailmoituksiin, jotta saadaan paremmin valaistua mahdollisia ongelmakohtia.

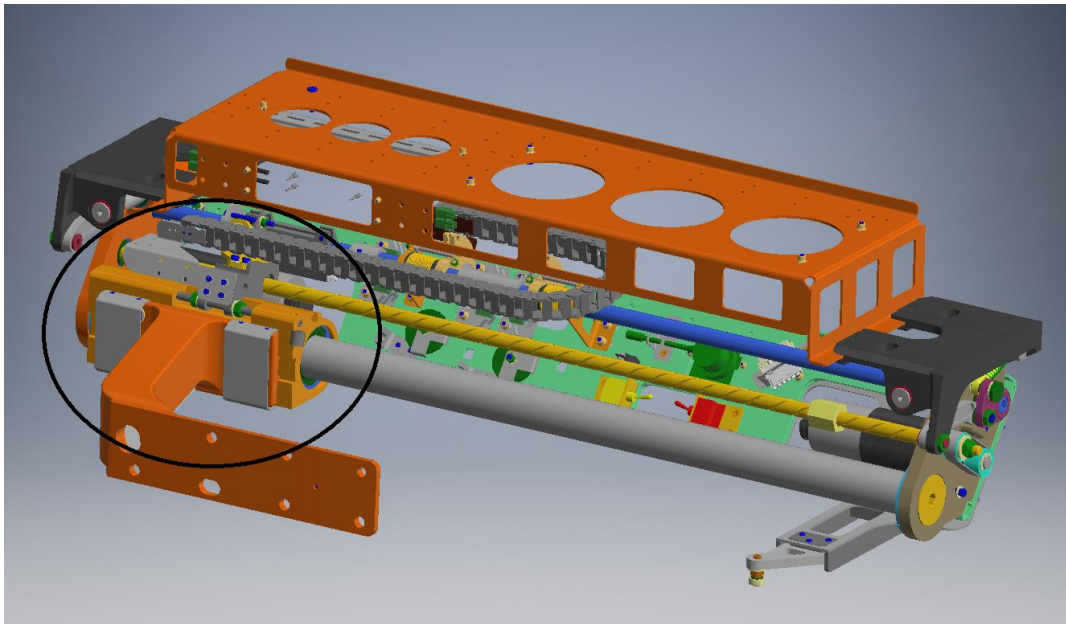
3.4.1 Vikailmoitukset

Vikailmoituksia on pääsääntöisesti jaoteltu joko sähköisiin tai mekaanisiin ongelmiin. Koska ilmoituksia on sen verran monta, on tätä työtä varten ilmoitukset pilkottu vielä pienempiin osiin, jotta analysointi olisi tarkempaa. Osioita on 15 ja ne valikoituivat oleellisemmän osan tai vian mukaan, esimerkiksi moottorivika tai ovijärjestelmän ääntely. Osaan vikailmoituksista on kirjattu moduuli ja/tai oven numero. Ovien numerointi on 1-5 ja se lähtee järjestyksessä A-moduulin edestäpäin katsottuna ensimmäisestä ovesta, eli viides ovi on B-moduulin perimmäinen ovi. Datassa on ilmaistu myös raitiovaunujen numerointi. Tämän kappaleen jälkeen tarkastellaan, nouseeko joku tietty raitiovaunu vikailmoitusten määrän perusteella ongelmalliseksi.

Ovikoneistoon liittyvät vikailmoitukset olivat yleisimpiä, niitä oli 32 kappaletta. Yleisesti ongelmat liittyivät siihen, että ovikoneistossa jokin osa osuu toiseen osaan tarpeettomasti. Eniten hätäavausnokka osui ovikoneiston liukukelkkaan, näitä oli kirjattu 12 tapausta – tosin on hyvä huomioda, ettei hätäavausta käytetä juurikaan linjalla muutoin kuin hätätapauksissa, lisäksi se on käytössä esimerkiksi huoltotilanteissa. Myös kaapelitelaketjun kiinni ottamisesta rajakytkintankoon ja hätäavausvaijerin takertumista

kaasujouseen ja koteloon raportointiin. Kaasujousen takertumisesta löytyi myös ilmoituksia, kuten myös energiaketjun hankaamisesta. Lisäksi ovikoneistosta löytyi roikkuvia ja sitomattomia kaapeleita. Näiden lisäksi oli kirjattu liukujohteen päätykumin irtoamisesta ja pääakselin takapäähän törmäyskumin löysyydestä. Näiden ohella ovikoneiston kotelossa oli havaittu kolhuja, mutta myös havaittu, että kotelo hankaa pystypaneelia. Tämän kategorian vikojen syitä voidaan hakea joko asentajalta tai toimittajalta. Vääränlainen asennus ovat varmasti suurimpia syitä osien epätoivottuun kosketukseen, kuten myös sitomattomat kaapelit. Osien irtoamisen osalta on hyvä huomioida, ovatko osat olleet paikoillaan jo ennen asennusta, jolloin syy löytyy toimittajan tavarasta. Irtoavat ja asennettavat osat kielivät siitä, että niitä ei ole asennettu oikein. Tietenkään ei voi poissulkea huonoa suunnittelua toimittajan osalta.

Kuvassa 23 on ympyröity ovikoneiston liikkuvat osat, jotka ovat aiheuttaneet edellä mainittuja ongelmia. Kuvassa on ovikannake, joka on kiinnittynyt ”liukukelkkaan”, joka liikkuu akselia pitkin.



Kuva 23. Ovikoneiston liikkuvat osat ympyröity.

Ovijärjestelmän ohjelmistoon liittyviä vikoja oli ilmoitettu 16 kappaletta. Eniten ilmoituksia oli saanut ”Ovien vikakoodin 0F korjaus”, joka oli mainittu kuusi kertaa. Vikakoodin selitys löytyy Ultimaten diagnostiikan kuvauksesta sivulta 13, jossa kerrotaan DCU:n havainneen vian liukumoottorissa tai liukuliikkeen asentosensorissa. Toimintaohjeeksi neuvotaan tarkistamaan ovien liukuenkooderin johdot ja DCU:n ja moottorin liittimet. Vika vaatii oven välittömän poiskäytöstä oton (Jakob 2020a). Toisena yleisenä vikailmoituksena löytyi nopeustietovika, joista ilmoituksia oli kolme. Kahteen näistä on lisätty, että tämä on kuitattu halliajon kytkemisellä. Nopeustietovika on ollut yksi yleisimmistä vioista Transtechilla, ja se on ollut tiedossa pidemmän aikaa. Kyseisessä viassa DCU:lle tulee virheellistä tietoa raitiovaunun nopeudesta, mikä taas vaikuttaa ovien toimintaan. Articissa DCU:lle tulee kaksi nopeussignaalia ($v < 3 \text{ km/h}$ ja $v > 3 \text{ km/h}$), joiden tilaa DCU vertailee koko ajan. Nopeustietovika ilmenee, jos näiden signaalien tilat ovat väärässä tilassa yli 2 sekuntia. Näistä kahdesta lisää kohdassa 3.4.4 Toistuvat viat.

Kaksi ilmoitusta liittyivät nelosoveen, jonka näyttö on vilkkunut punaisella. Yksi vikailmoitus liittyi ykkösoveen, josta oli tullut ilmoitus, että kyseinen ovi on pois käytöstä, minkä jälkeen ovi oli sulkeutunut hitaasti ja sen jälkeen lakannut toimimasta. Lisäksi ilmoituksissa oli väylävikä, oviohjausyksikön toimintavika ja vikalokiseuranta.

Ovijärjestelmän aiheutuvat ylimääräiset äänet olivat suhteellisen yleisiä, niitä löytyi 14. Eniten ongelmia oli vaunun A-moduulin etummaisessa ovela. Äänet olivat narisemista, vinkumista, kirsukumista ja kolahtamista. Ne tulivat ovista, hammashihnasta, ovilehden alarullista tai ovikoneistosta. Syyt voivat johtua sekä asennuksesta että toimittajan tavarasta.

Myös 14 ilmoitusta nousi esille ovijärjestelmien toimimattomuudesta ilman selvää syytä. Kuusi näistä ilmoituksista koski ykkösovea, joka ei ole toiminut, se on ”tempuilut” tai jumiutunut, tai siinä oli havaittu ovikennohäiriö (näin oli kirjattu, luultavasti kuitenkin tarkoitetaan oven valokennohäiriötä), vaikka ovi oli toiminut muuten oikein. Muuten ongelmat koskivat kakkos-, nelos- ja kolmosovea. Nämä toisaalta ovat vikoja, joista ei voi tietää, onko kyse esimerkiksi DCU:sta, asennuksesta, osista vai jostain muusta mahdollisesta.

Ovien epätoivottu sulkeutuminen oli aiheuttanut 13 vikailmoitusta. Viisi ilmoitusta koskivat ykkösovea, joka ei ole sulkeutunut tai jaksanut sulkeutua, myös alamäkipysäkillä ovi ei ole mennyt kiinni. Näiden lisäksi ykkösovillehti oli heilunut sulkeutuessaan. Kakkos-, kolmos- ja nelosovien ilmoitukset koskivat sitä, etteivät ovet ole sulkeutuneet. Yhteen nelosoven ilmoitukseen oli lisätty, että ovi poistettiin käytöstä, ja vaunu oli vaihdettu. Viitosovesta oli kolme ilmoitusta, joista yksi poikkesi edellä mainituista ilmoituksista, sillä siihen oli kirjattu, että ovi jää ajoittain tökkimään, kun sitä yrittää sulkea. Tämän kategorian vioissa taustalla voi olla samoja syitä kuin edellisessä ryhmässäkin.

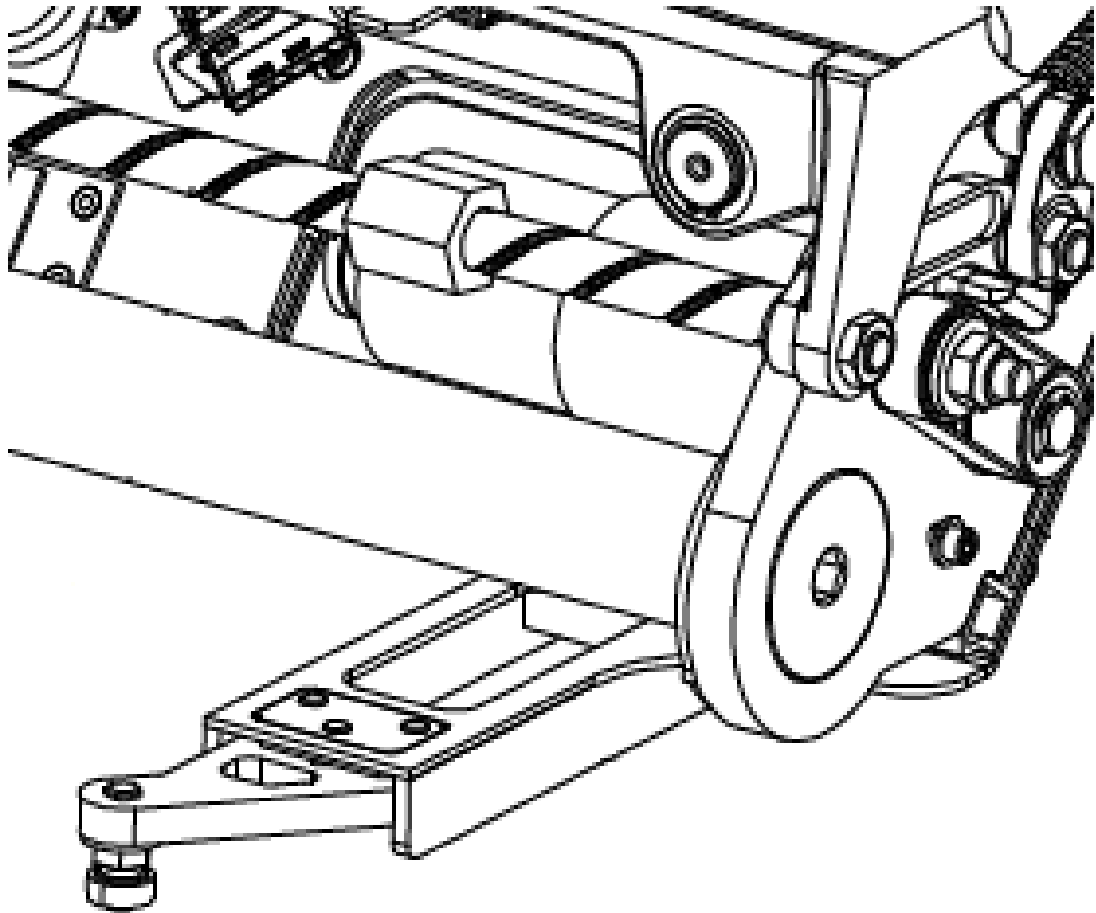
Ovijärjestelmän moottoreista oli kahdeksan vikailmoitusta. Viat koskivat pääasiassa liukumootoria, ja yleisimmin oli kirjattu pelkästään vika. Lisäksi oli ilmoitettu siitä, että liukuliikkeessä ovi pomppii ja ovi ei saavuta liukuliikkeen aukeamisrajaa. Yksi ilmoitus

epäili liukuoven joko moottori- tai kennovikaa, kun toinen ilmoitus oli kirjattu ”herjasi liuku- sekä tulppaliikkeen moottorivikoja”.

Ovien painikkeiden osalta vikoja oli listattu myös kahdeksan kappaletta. Lievemmat ongelmat koskivat painikkeen linssin puuttumista (tämä oli havaittu katsastuksen jälkitarkastuksessa) ja ovipainikkeen palamattomasta painikevalosta, josta huolimatta painike toimi. Muut viat koskivat painikkeiden toimintaa, esimerkiksi yhtä ykkösoven painiketta oli pitänyt painaa useampaan kertaan, jotta ovi avautuisi.

Ovijärjestelmistä löytyvät rullat aiheuttivat kuusi vikailmoitusta. Yksi ilmoitus koski kolmosoven vasemman ohjainrullan pulttia, joka oli väärän mallinen – jos kyseinen pultti ei ole toimittajan ohjeistuksen mukana, voidaan todeta vian olevan asennusvirhe. Toinen ilmoitus taas koski viitosoven ohjainrullaa, joka oli välyksellinen. Todennäköisin syy tälle on kuluminen väljäksi. Kaksi ilmoitusta koskivat ovien ylärullia, toisessa ylärullan kannake oli irti koneistosta ja toisesta se puuttui kokonaan. Kaksi viimeistä ilmoitusta taas koskivat lukitusrullaa, joista toinen lukitusrulla ”klappaa” tai lonksuu, ja toinen lukitusrulla oli koneiston puolella melkein irti.

Kuvassa 24 näkyy vasemmalla alareunassa ovikoneiston rulla, joka on edellä mainittu ”ylärulla”. Kyseisen osan tarkemman sijainnin voi havaita kuvasta 9, jossa se sijaitsee kuvan vasemmassa laidassa. Pystytangon yläosa kiinnittyy kyseiseen rullaan.



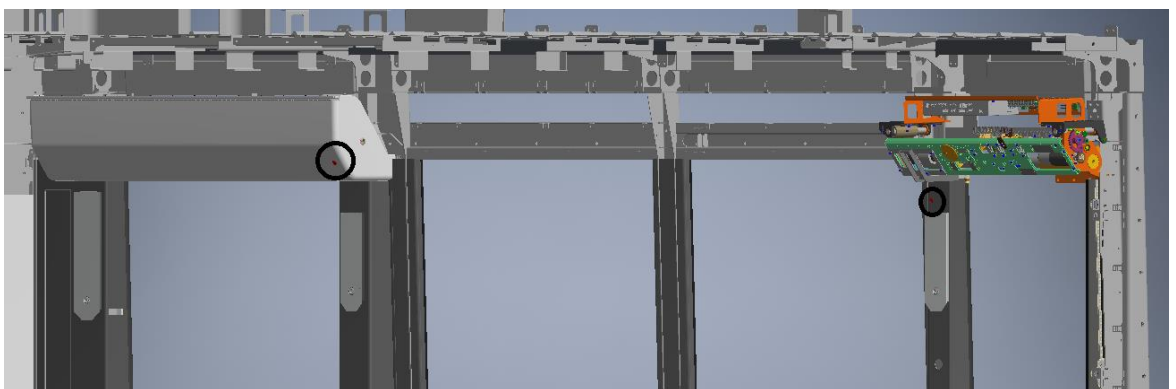
Kuva 24. Ovikoneiston rulla, johon tukitangon yläpää kiinnittyy.

Datassa oli ilmoitettu kulumajäljistä ovikoneiston pääakselissa, ja nämä ilmoitukset voisi listata ovikoneiston alle, mutta kulumajäljet ovat olleet yksi huomattava ongelma yleisesti. Tästä syystä ne on otettu erikseen. Kulumajäljistä löytyi viisi ilmoitusta. Kolme ilmoitusta koski kakkosovea, yksi viitosovea ja yksi kolmosovea. Tämä on aiheuttanut keskustelua toimittajan ja Transtechin välillä, sillä akseleiden kulumajäljet näyttävät tulleen viallisista tuotteista, kuten huonosta pinnoitteesta. On kuitenkin havaittu, että ovikoneiston vääränlainen asennus voi pahimmassa tapauksessa taivuttaa järjestelmän akseleita.

Vikailmoituksissa oli viisi ilmoitusta hätäavaukseen liittyen. Kaksi ilmoitusta liittyi hätäavausmekanismin suoja-pleksin halkeamiseen, toisessa kerrottiin halkeaman sijaitsevan niitin kohdalla. Yksi ilmoitus koski hätäavauskahvan luukun lukkoa, joka pyörii ympäri. Kahdessa tapauksessa itse hätäavaus ei toimi – toisessa tapauksessa sisäavaus ei pysy auki, toisessa mekanismi ei toimi ollenkaan viitosovessa. Nämä viat ovat todella kriittisiä turvallisuuden kannalta. Kappaleessa 3.4.3 kerrotaan materiaalivaihtoista, ja onkin hyvä huomioda, että hätäavausvaijereita on vaihdettu useampi kappale.

Datasta löytyi neljä ilmoitusta siitä, että ovi osuu vaunun kylkeen. Kolme ilmoitusta koski viitosovea, eli yksilehtistä ovea. Yksi ilmoitus siis koski kolmosovea, joka on kaksilehtinen ovi. Yhteen ilmoitukseen oli lisätty, että ovi naarmuttaa kylkeä, kun muissa se ottaa kiinni paneeleihin.

Ovien merkkivaloista vikailmoituksia oli kolme. Ovivapautuksen merkkivalo ei toiminut kuten ei 2-oven ”pois käytöstä” –merkkivalo. Kolmanneksi oli kirjattu ”Ovi 5 merkkivalo”. Kuvassa 25 on ”Ovi pois käytöstä” –merkkivalon sijainnit ympyröitynä. Kuva on 3D-kuva rungosta leikkauskuvan muodossa, näkyvissä ovat myös yksilehtisen ovikoneisto (oikealla) ja kaksilehtisen ovikoneiston kotelo (vasemmalla).



Kuva 25. ”Ovi pois käytöstä” -merkkivalojen sijainti ympyröitynä.

Ovijärjestelmän pystytangoissa oli havaittu kolme vikaa. Jokainen vika kohdistui eri vaunun viitosoveen. Ensimmäisenä tukitangon (sama kuin pystytanko, ilmoituksessa

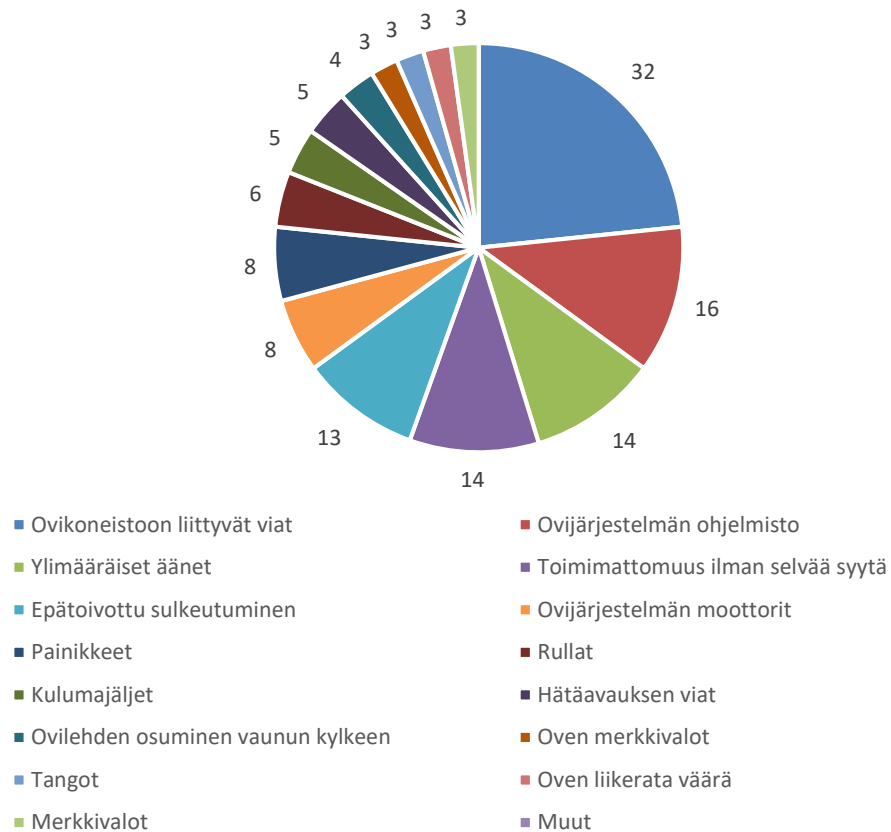
käytetty sanaa tukitanko) hela oli irti, toisena oli havaittu oven tukitangon takertelevan avautuessaan, ja kolmanneksi ovilehti oli ottanut kiinni pilaritangon (eli pystytanko, nimikkeessä käytetty sanaa pilaritanko) alaosaan.

Oli kolme eri tapausta, joissa oven liikerata oli epätoivottua. Kaksi ovea on soutanut ja kolmas ”nitkuttaa” tai nykii avautuessaan, mutta ei sulkeutuessaan. Tässä on hyvä huomauttaa, miten tärkeää on käyttää yhtäläisiä termejä, sillä oven soutaminen ei välttämättä ole tarpeeksi kuvaava termi, vaan voi aiheuttaa vääränlaisia mielikuvia.

Merkkivalojen toiminnasta oli ilmoitettu kolme vikaa, joista kaksi oli havaittu katsastuksen yhteydessä. Näiden merkinnät olivat ”Katsastus: ovi poissa käytöstä, 2 ovella ei toimi valo” ja ”Katsastusvika: 4-oven ”ovi pois käytöstä” –merkkivalo ei toimi”, joten voidaan todeta, että kahden oven merkkivalot eivät ole toimineet. Kolmas vika oli ”1-oven ovivalo pimeä”, eli ongelma on sama kuin edellisissä.

Lisäksi löytyy muita ongelmia, jotka eivät sovellu edellisiin kategorioihin tai eivät ole varsinaisesti vikadataa. Näitä löytyi listasta seitsemän kappaletta, ja vain kaksi niistä oli varsinaisesti vikoja, muut olivat ovien säätöä, oven tarkastus ja ovien liukujohteiden tarkastus. Tämä antaa myös hyvän kuvan siitä, että vikailmoituksiin saattaa sisältyä myös tarkastuksia. Lisäksi tähän on otettu mukaan kaksi ilmoitusta, joiden sisältö on vain ”ovi 1”, lisätietoa ei ole kirjattu. Varsinaiset viat taas liittyivät ykkösoven vasemman puoleisen takalukkolaitteen jouseen, joka ei pysy sen alumiinisen vastakappaleen kolossa, ja kuljettajan kojelautaan, josta ykkösoven painikkeen kaulus puuttuu.

Kuvassa 26 on kaavio, johon koottu edellä mainitut vikailmoitukset kappalemäärin. Alareunasta löytyvät värien nimet, jotka ovat kategorioitu tekstin mukaisesti.



Kuva 26. Vikailmoitusten jakautuminen aiheittain.

3.4.2 Vikojen jakautuminen vaunuittain

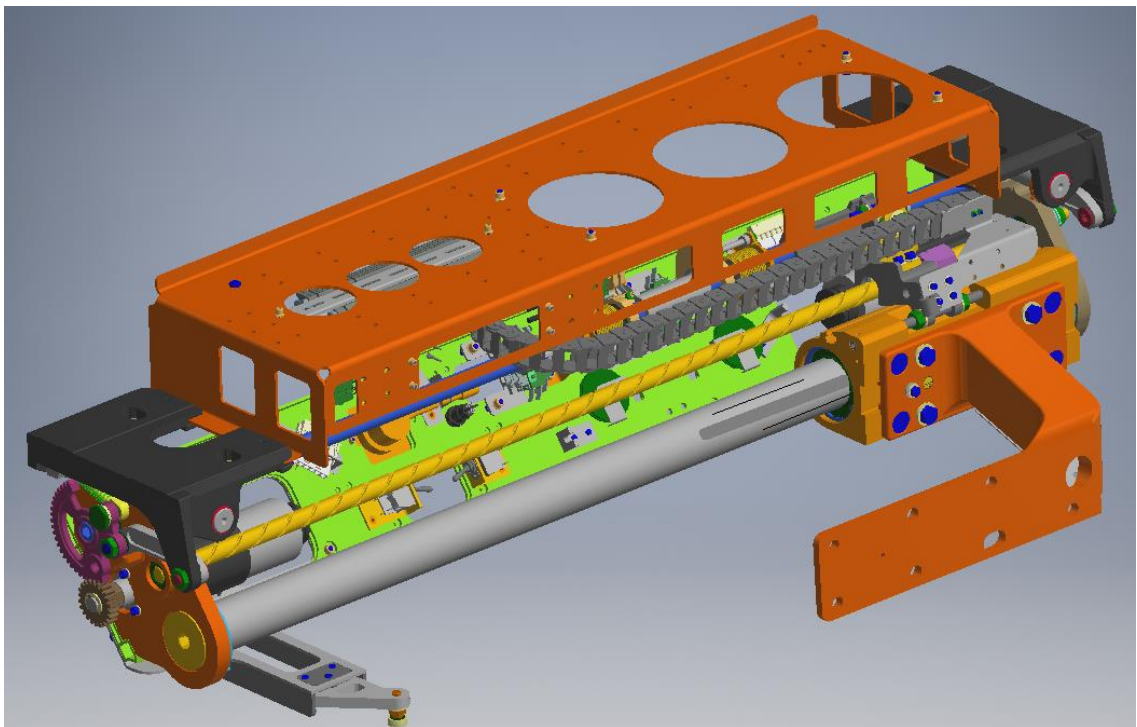
Artic-raitiovaunujen numerointi on 401-470, joista kuitenkin kaikki vaunut eivät ole enää Transtechin huollon alaisena. Articin osalta on sovittu, että vaunuja huolletaan Transtechin toimesta kolme vuotta, jonka jälkeen ne siirtyvät pois Transtechin huollon piiristä. Täten myöskään vikadiagnostiikkaa ei enää ole saatavilla näistä, ainoastaan tyyppiviat reklamoidaan. Kuitenkin Jokerin huoltosopimus on seitsemän vuotta.

Vikailmoitukset jakautuvat työssä käytetyn diagnostiikkadatan piirissä olevien vaunujen kesken suhteellisen tasaisesti, mutta muutama poikkeus nousi esiin. Pääasiassa vikoja on

vaunua kohden yksi tai kaksi, mutta muutamassa vaunussa ilmoitusten määrä erottui muista.

Eniten vikailmoituksia oli kirjattu vaunulle 420, niitä oli 12 kappaletta. Viat liittyivät niin pääakseleiden kulumajälkiin (kappaleessa 3.4.4 lisätietoa), ovikoneistoon ja sen sisältöön, lisäksi oli kirjattu ”ovivika”. Viat kattoivat tasaisesti kaikki ovet, joten esille nousee kysymys, ovatko viat aiheutuneet esimerkiksi liiallinen kiire asennuksen kanssa tai jokin puute siinä.

Kuvassa 27 on demonstroitu ovikoneiston pääakselin kulumajälkiä. Jäljet ovat olleet uramaisia ja leveitä (harmaa viiva) ja ohuempia viiruja (mustat viivat). Naarmut on jaoteltu kolmeen luokkaan, ensimmäisen tason naarmu, joka tuntuu kynnellä; toisen tason naarmu, joka tuntuu selvästi sormella; ja kolmannen tason naarmu, joka on selvästi havaittavissa ja aiheuttaa ovilehden kannakkeen liikkumisen vaikeutumista akselilla. Harmaalla esitetty naarmu on juurikin kolmostason ja mustat ykkös- ja kakkostason naarmuja.



Kuva 27. Ovikoneiston pääakselin kulumajäljet.

Toiseksi eniten vikoja löytyi vaunusta 437, josta niitä oli kirjattu kahdeksan. Kolme vikaa liittyivät toimimattomiin matkustamon painikkeisiin, kaksi ovien yksi ja viisi kolahtamiseen auetessa, yksi oven sulkeutumiseen, ja yksi oli määriteltä liukumoottorin tai kennon viaksi.

Vaunuun 418 oli kirjattu seitsemän vikaa. Ne rajautuvat ykkös-, kakkos- ja kolmosoviin. Viat koskivat pääakselin kulumajälkiä ja ovikoneiston osien epätoivottua keskenään osumista, lisäksi oli kirjattu OF-vian korjaus, joka tarkoittanee kyseisen vian kuittausta.

Kolmelle vaunulle oli kirjattu kuusi vikaa, ja vaunut olivat 415, 444 ja 453. Vaunussa 415 viat olivat ovikoneistoon liittyviä vikoja, mutta myös nelosoven vinkumiseen liittyvää. Kolme vikaa näistä tosiaan koskivat nelosovea, kun taas kaksi viitosovea ja vain yksi kolmosovea. Vaunun 444 vioista neljä koskivat viitosoven toimintaa, se oli osunut vaunun ulkopaneeliin tai ei ollut toiminut vaaditusti. Vaunussa 453 viat taasen ykkösoven kanssa oli ollut kaksi kertaa viikon aikana ongelmia, jolloin ovi oli ilmoituksen mukaan ”temppuillut” eikä suostunut sulkeutumaan. Muuten viat koskivat nopeustietovikaa, lukitusrullaa, tukitankoa ja nelosoven vilkkumista punaisena.

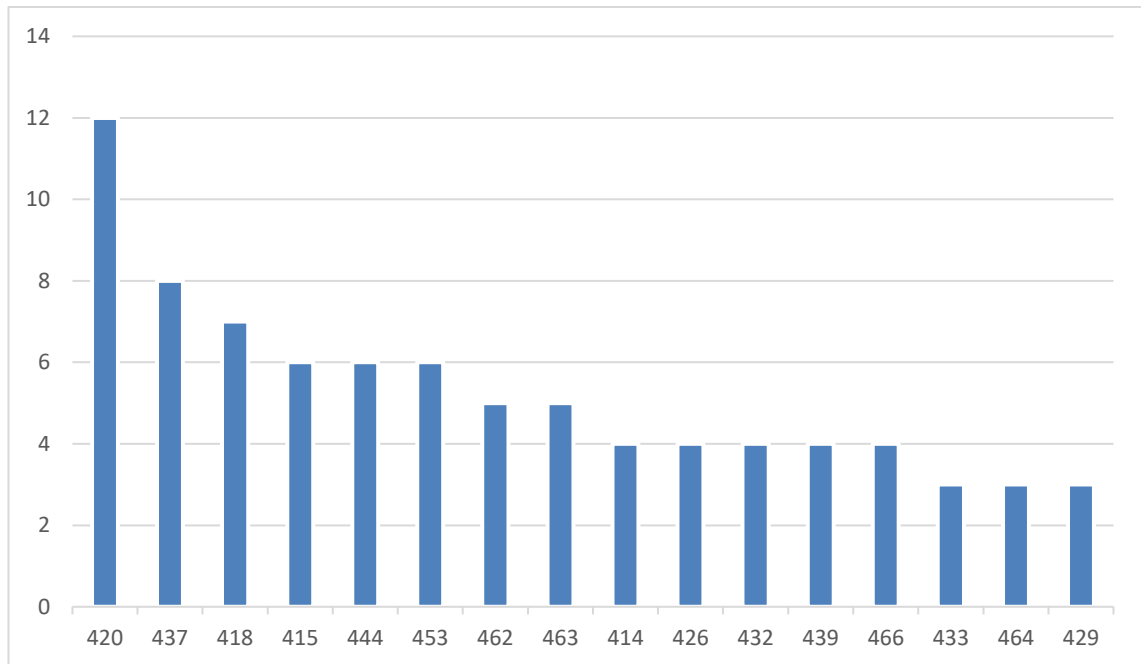
Viisi vikailmoitusta löytyi vaunuista 462 ja 463. Vaunussa 462 ykkösovesta oli kolme ilmoitusta, aikajärjestyksessä ensimmäisenä ovi oli rämissyt auetessa ja sulkeutuessa, noin kahden kuukauden päästä ovi oli rutissut ja tästä taas noin kahden kuukauden päästä ovilehti oli heilunut kiinni mennessään. Tässä on hyvä pohtia, ovatko viat johtuneet jostain yhdestä tietystä syystä. Muuten vaunun viat olivat merkkivalovika ja viitosoven pompotus. Vaunun 463 viat eivät keskittyneet erityisesti tietyille oville, vaan olivat ykkösoven ovikennohäiriö ja lukitusrullan lonksuminen, DCU:n toimintavika, kakkosoven avautumisongelma ja nelosoven hammashihnan natiseminen.

Vaunuihin 414, 426, 432, 439 ja 466 oli kirjattu jokaiseen neljä vikaa. Vaunun 414 viat olivat kakkos-, kolmos- ja nelosovien ovikoneistojen hätäavausnokan osuminen kelkkaan, ja näiden lisäksi nopeustietovika. Vaunussa 426 ykkösoveen liittyen oli kaksi ilmoitusta, ensimmäisenä pelkästään ”ovi 1”, ja alle kuukausi tästä ilmoituksena oli ollut näytölle ilmestyneestä tekstistä, jonka mukaan ykkösovi oli pois käytöstä. Kaksi vikaa koskivat nelosoven ovikoneistoa, jossa hätäavausnokka osui liukukelkkaan, nämä

ilmoitukset olivat peräkkäisinä päivinä. Vaunun 432 kolme ilmoitusta koskivat kakkosovea, ensimmäisenä oli ilmoitettu ovivika, minkä jälkeen viiden kuukauden kuluttua ovi oli jouduttu poistamaan käytöstä linjavikaantumisen takia, muutaman päivän kuluttua tälle oli tehty tarkastus. Neljäs ilmoitus koski ykkösovea, joka ei toimi omasta ovipainikkeesta. Vaunun 439 ilmoitukset koskivat OF-vian korjausta, nelosoven toimimattomuutta ja oven ovikoneiston energiaketjun hankaamista lukitussalpoihin, ja ykkösoven vasemmanpuolen takalukkolaitteen jouta, joka ei pysy vastakappaleensa kolossa. Raitiovaunun 466 vioiksi oli kirjattu ykkösoven toiminnan epäkelvollisuus, kolmosoven vasemman ohjainrullan pultin vääränlaisuus, nelosoven toimimattomuus ja vitosoven vikalokiseuranta.

Muut vaunut tosiaan olivat saaneet yhdestä kolmeen vikailmoitusta. Huomionarvoisena muutama vaunu nousi esiin toistuvalla vialla. Vaunussa 433 oli tehty kolme ilmoitusta, jotka kaikki koskivat kakkosovea, kaksi ilmoitusta tosin samalta päivältä, ja kolmas ilmoitus kahden päivän kuluttua. Ensimmäiset kaksi ilmoitusta kertoivat, ettei kakkosovi mennyt kiinni ja kolmas ilmoitus sitä, ettei kakkosovi toimi. Vaunun 429 vioista kaksi koski viitosoven vinkumista sulkeutuessaan ja samaisen oven ohjainrullan välyksellisyyttä, kolmas ilmoitus koski kolmosoven törmäyskumin löysyyttä. Viitosoven ilmoitukset ovat toisaalta hyvä huomioda, sillä ne voivat olla kytköksissä toisiinsa. Kolme vikailmoitusta oli kirjattu myös vanulle 464, ja niistä kaksi koski nelosovea, vaikkakin toinen ilmoitus oli helmikuulta ja toinen lokakuulta. Helmikuussa nelosovi ei mennyt kiinni ja lokakuussa ovi oli ollut yhteistyökyvytön. Kolmas ilmoitus liittyi kakkosovea ja sen yläpuolelta kuuluvaan outoon ääneen.

Kuvassa 28 on esitetty vikojen jakautuminen vaunuittain kaavion muodossa. Kuvaajassa on merkitty vaunujen numerot x-akselilla ja y-akselilla näkyy vikojen lukumäärä.



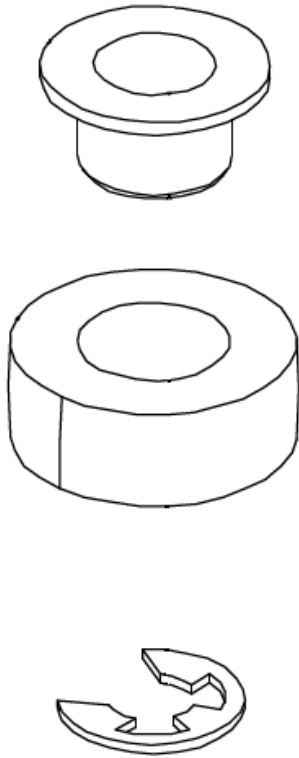
Kuva 28. Vikojen jakautuminen vaunuittain.

3.4.3 Materiaalin vaihdot

Materiaalien eli osien vaihtamista vuoden aikajaksolla tehtiin kaikkiaan 62. Nämä antavat kuvan siitä, mitkä osat kuluvat, ja tätä myötä selvittää, miksi ne kuluvat – elleivät ole aidosti kulutusosia.

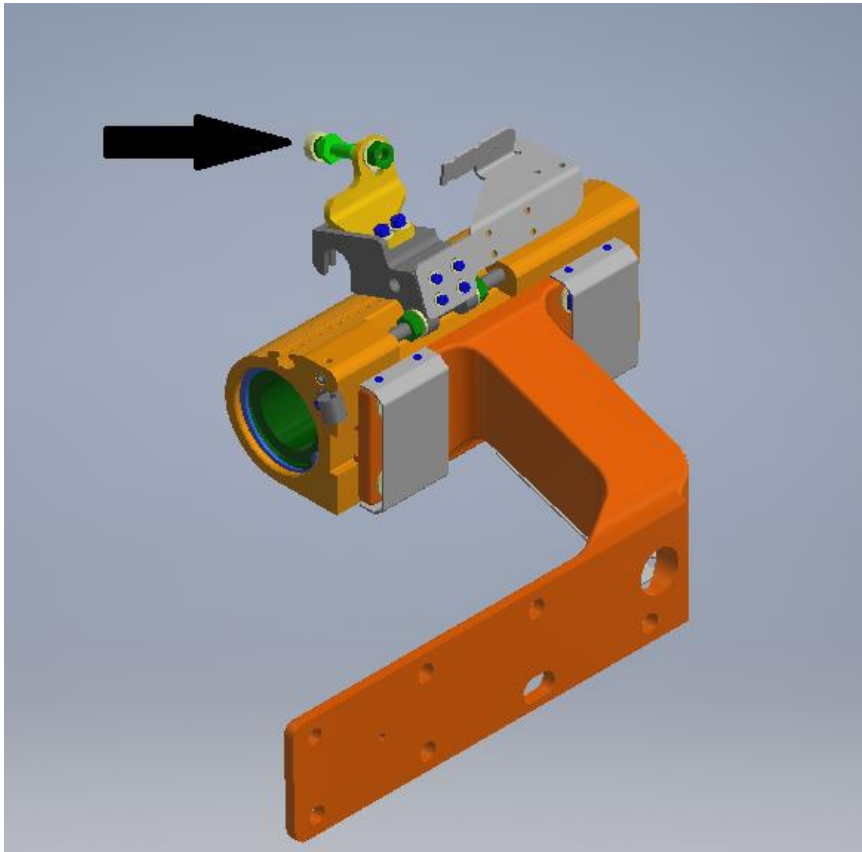
Eniten jouduttiin vaihtamaan ovikoneiston lukitusrullia ja laipallisia liukulaakeriholkkeja, joita kumpiakin vaihdettiin 12 kappaletta. Kumpaakin käytetään ovikoneiston ovilehti- ja liukukannattamissa.

Kuvassa 29 on havaittavissa, että holkki asettuu rullan sisälle, ja tämän kokonaisuuden lukitsee lukitusrenkas, joka on kuvassa alimmaisena. Näitä lukitusrenkaita vaihdettiin seitsemän kappaletta.



Kuva 29. Piirustus laipallisesta liukulaakeriholkista, lukitusrullasta ja -renkaasta.

Kuvan 30 musta nuoli osoittaa edellä mainittujen osien sijainnin ovikannakkeissa. Ovikannake osana ovijärjestelmää on näkyvissä esimerkiksi kuvissa 7 ja 9.



Kuva 30. Laakeriholkin sijainti ovikannakkeessa.

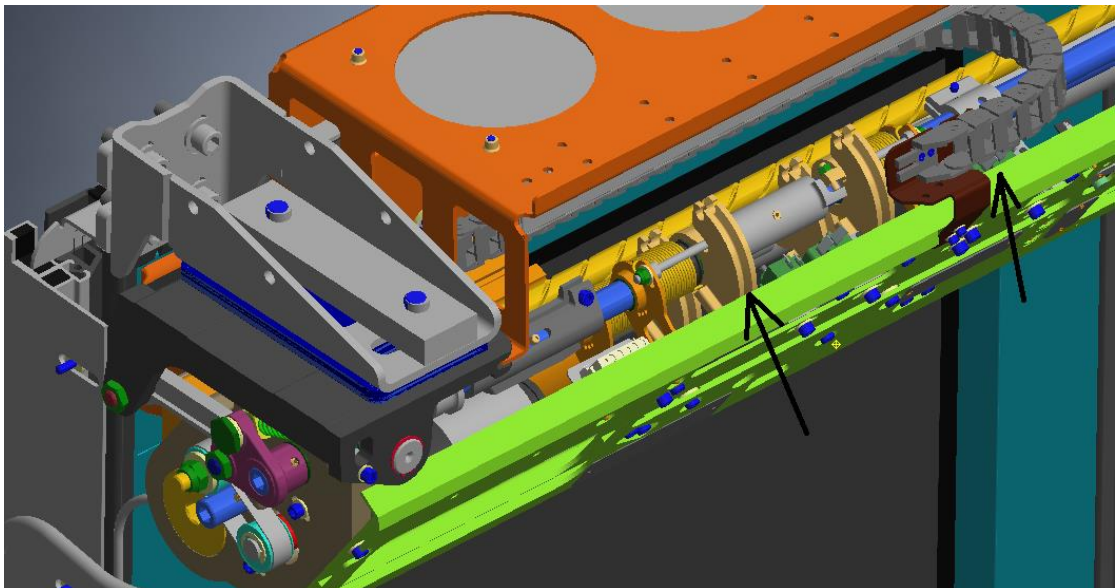
Yksilehtisen oven sisäpuolisia hätäavausvaijereita vaihdettiin kokonaisuudessa viisi. Ovikoneiston käyttöruuviakselin hihnoja ja pystytangon kääntövarren ohjainrullia vaihdettiin kumpiakin neljä kappaletta. Ovisummereita ja yksilehtisen kolmioavainkytkimiä vaihdettiin kolme kappaletta, oviohjausyksikköjä, ovikoneistosta löytyviä pakkopysäyttimiä ja ohjainrullan pultteja kaksi.

jarrusignaaleja, ja tällöin vaunua voidaan liikuttaa myös ovet auki varikolle. Tätä ennen matkustajat on poistettava kyydistä. Työn alla on selvitys siitä, voisiko DCU:lle tulla pelkästään yksi signaali ($v < 3$ km/h), jolla pyritäisiin päästä eroon nopeustietoviasta. Selvityksen alla on turvallisuuskriittisiä asioita, joiden selviämisen jälkeen asiakas voi päättää, haluaako ostaa muutoksen. Tämän jälkeen voidaan tehdä ovijärjestelmän ohjelmistopäivitys Articeihin.

Akseleiden kulumajäljet ovat olleet pitkään Ultimaten käsittelyssä. Ultimate on myöntänyt, että joissakin erissä on ollut riittämätön pinnoitteen kovuus, joka on aiheuttanut kulumajälkiä. Tätä ongelmaa ei juurikaan Transtechin päässä pystytä korjaamaan. Kuitenkin on tärkeä huomioida akseleiden kulumiset, jotka ovat syntyneet juurikin vääränlaisen asennuksen takia, esimerkiksi juuri simmauslevyjen takia. Jos vikoja edelleen esiintyy, esimerkiksi näiden kulumajälkien osalta, on erittäin tarpeellista jatkaa vikojen syiden tutkimista jatkossakin. Näin voidaan selvittää, onko taustalla juurikin asennusvirheitä vai voiko tuotteessa olla edelleen esimerkiksi suunnitteluvirhettä.

Hätäavausnokan osuminen liikkuviin osiin johtuu siitä, kun hätäavauskahva vedetään auki, hätäavausnokka (kuvassa 32 vasemmanpuoleinen nuolen osoittama osa) osuu oven liikkuviin osiin, kun ovea liikutellaan manuaalisesti. Vikaa on koitettu korjata hätäavausvaijerin löysäämisellä, jolloin nokka ei käänny niin voimakkaasti. Tämä kuitenkin on väliaikainen ratkaisu, sillä usein vaijeria kiristetään uudelleen esimerkiksi huollon yhteydessä, jolloin ongelma toistuu. Toinen ja pysyvämpi ratkaisu olisi säätää nokka ja sen liikeradat, mutta tämä tulisi tapahtua Ultimaten toimesta. On hyvä huomioida, että ongelmaa ei ole esiintynyt kaksilehtisissä ovissa. Ongelmaa on esiintynyt tilanteissa, joissa hätäavauskahva on ollut täysin vedettynä auki pidättäen tässä asennossa. Tämän lisäksi myös tilanteissa, joissa kahvaa vedetään kerran niin, että se vedetään täysin auki ja vapautetaan, jolloin se palautuu noin 15 asteen kulmaan.

Energiaketjun, joka on näkyvissä kuvassa 32 oikeanpuolisella nuolella osoitettuna, hankaaminen tapahtuu yleensä siksi, että ketju löystyy käytössä, jolloin se rupeaa roikkumaan. Joissakin tilanteissa on myös havaittu, että hankaamista tapahtuu, jos ketju on asennettu väärin, kyseinen asennus suoritetaan Ultimatella. Lisäksi on pohdittu, voisiko ovikoneiston vinous vaikuttaa myös asiaan. Roikkumiset haittaavat ovikoneistossa tapahtuvia liikkeitä, ja suurena riskinä on, että ketju repeytyy, mitä ei ainakaan ole diagnostiikan tai haastattelun perusteella tapahtunut vielä. Ongelman ratkaisuksi olisi tärkeä pohtia, voisiko ketjun asentaa eri kohtaan, jolloin käytössä tapahtuva löystyminen ei aiheuttaisi ongelmia – tässä tietenkin ongelmana nousee ovikoneiston ahtaus. Ongelmaa on havaittu yksi- ja kaksilehtisissä ovissa.



Kuva 32. Hätäavausnokka ja energiaketju.

3.4.5 Kehityskohteita

Datasta voidaan päätellä, että vikoja syntyy niin asennuksen kuin toimittajan tavarantakia. Lisäksi on tärkeä muistaa mahdolliset vaikuttavat voimat korin rakenteissa, mitkä voivat olla syypäitä siihen, miten ovet sulkeutuvat ja avautuvat.

Transtech voi omalla toiminnallaan parantaa laatua panostamalla asennusten tarkkuuteen. On vaadittava laatua, mutta samalla aikatauluttaa toiminta niin, että asennus voidaan

suorittaa oikeaoppisesti alusta loppuun. Tietysti on oleellista panostaa siihen, että raitiovaunujen parissa työskentelevät henkilöt ovat kykeneviä hoitamaan tehtävänsä oikein. Esimerkiksi kuljettajien on tärkeä osata käyttää raitiovaunujen ovijärjestelmiä oikein ja ymmärtää esimerkiksi vikakoodeja tarpeellisella tasolla, eli jos tilanne vaatii resetointia, tämä tulisi onnistua jokaiselta kuljettajalta. Tällä hetkellä tilanne on kuitenkin se, että kuljettajat eivät tee aina kuittauksia, vaan suosiolla vaihtavat vaunun. On kuitenkin huomattava, että osa vikailmoituksista on ollut sellaisia, joita ei ole huollossa enää pystytty havainnoimaan.

Suunnittelun, huollon ja asentajien kanssa keskustelukanava tulisi olla paljon ketterämpi. Toistuvat ja ongelmalliset viat tulisi olla sellaisia, joihin pystytään reagoimaan nopeasti. Informaation tulisi kulkea jokaiseen suuntaan, esimerkiksi suunnittelijoiden tulee pystyä ilmaisemaan, miksi jokin asennus joudutaan tekemään tietyllä tavalla. Tämän mahdollistaminen vaatii toimivaa sovellusta tai prosessia, jonka avulla pystytään vaivattomasti pysymään ajan tasalla vikadatasta. Leanin ongelmista seuraavassa kappaleessa.

3.4.6 Leanin ongelmakohdat

Ensimmäisenä on tärkeä tarkastella, onko Lean tarpeeksi yksinkertainen sovellus, jonka avulla voidaan taata tarkkaa vikadataa, jonka avulla sekä asentajat että suunnittelijat ovat ajan tasalla. Tällä hetkellä tilanne ei vastaa tätä. Aivan ensimmäisenä voidaankin mainita juuri vikojen kirjaaminen, joka on puutteellista. Toisena huomiona on se, ettei Lean ole niin laajassa käytössä kuin mitä voisi. Leanin data ei tule suoraan suunnitteluun, vaan dataa käsitellään esimerkiksi After Salesissa. Sitä tosin voi itse tarkastella Leanin kautta, jos osaa etsiä tietoa sieltä.

Kolmantena voidaan esittää, ettei Lean ole selkeä tai kovin kevyt käyttää. Ohjelman käyttäminen vaatii tietoa, etenkin siitä mistä ja miten dataa löytää parhaiten.

Kuvasta 33 löytyy kuvankaappaus Leanista ja vikalistauksesta. Kuten voi havaita, data esitetään rivien ja sarakkeiden avulla. Yhdellä rivillä on tässä tapauksessa yksi vikailmoitus. Sarakkeita on useampi, ja niistä löytyvät vikaan liittyviä tietoa. Sarakkeiden määrä hankaloittaa oleellisen tiedon löytämistä – sarakkeissa saattaa olla väärää tietoa tai jopa ylimääräistä tietoa.

[illegible]

Kuva 33. Kuva Leanin vikalistauksesta.

Lisäksi on hyvä huomioida se, jos Leanista ”tulostetaan” tietoa Excel-muodossa, mukaan ei tulostu mahdolliset lisätiedot tietystä viasta. Jos lisätietoja on lisätty kirjaukseen, niitä voi tarkastella valitsemalla Leanissa haluttu rivi. Excel-tiedostoa on niin sanotusti kevyempi käyttää, ja dataa tulostetaan yleensä, kun sitä pitää jakaa muille.

Vikadatan kirjaamisessa olisi tärkeä tavoitella yhtenäisyyttä. Tällä hetkellä kirjauksissa kirjaava henkilö voi käyttää termejä, jotka eivät avaudu datan käsittelijälle. Olisi myös tärkeä käsitellä dataa esimerkiksi vian korjauksen jälkeen, esimerkiksi korjata kirjauksen kohde tai otsikko. Näin voidaan pitää huoli siitä, että data on luotettavaa, ja sitä voidaan käyttää suunnittelussa. Voisi olla hyvä myös, että asentajilla olisi matala kynnys tarkistella tätä dataa, sillä osa vioista kuitenkin johtuvat asennuksista.

Voi pitää myös ongelmallisena sitä, että Leanin lisäksi on käytössä ECO/ECR-menetelmä, jotka hieman menevät päällekkäin keskenään. Yrityksen toiminnan ja työntekijöiden kannalta on tärkeää, että sovellukset ovat yksinkertaisia, eivätkä ne niin sanotusti kilpaile keskenään. Tehokasta toimintaa saadaan sillä, että esimerkiksi vika- ja kehotuskorjaukset tapahtuisivat yhtä linjaa pitkin. Tällöin myös näistä pysyttäisiin mahdollisimman ajan tasalla eri taholla. Siksi on tärkeä tarkastella, miten vikaraportointi ja muutosehdotukset jatkossa kannattaa tehdä.

4 EHDOTUS VIKOJEN RAPORTOINTIIN

Tässä kappaleessa käsitellään sitä, miten saadaan helposti ja kattavasti vikatiedot asentajilta suunnittelijoille. Tällä hetkellä tilanne on se, että matkan varrella osa tiedosta jää kokonaan pois, minkä takia saadaan vääristynyttä tietoa suunnitteluun – pahimmassa tapauksessa tietoa ei saada ollenkaan siirrettyä suunnitteluun. Esimerkiksi vikaraportissa voidaan kertoa ongelmasta ja kuinka se on saatu ratkaistua, mutta itse ongelman syy voi jäädä kokonaan pois tiedoista. Tämä aiheuttaa suunnittelijoille hankaluuksia vaikuttaa vikoihin, jotka johtuvat esimerkiksi suunnitteluvirheistä tai asennusohjeiden epäselvyydestä.

Vikojen raportoinnin tulee tukea tuottavuutta ja tehokkuutta.

4.1 Raportointimenetelmä

Vikojen raportoinnin päätavoite on saada viat asentajien ja suunnittelijoiden tietoon, jotta niihin voidaan vaikuttaa. Tässä tietysti on oleellista myös huomioida After Saleskin, joka tällä hetkellä kuitenkin käyttää Leania. Jotta tämä toteutuisi, tulee raportoinnin tapahtua vaivattomasti ja selkeästi vian havainnoitsijalta aina suunnittelijalle asti. Tasainen laatu voidaan saavuttaa sillä, että raportointi tapahtuu tiettyjen ohjeiden mukaan. Järjestelmän tulee olla mahdollisimman yksinkertainen.

Tehdastyö on yleensä fyysistä työtä, jonka ohessa ei välttämättä löydy aikaa tai tietyssä tapauksessa kiinnostusta ruveta raportoimaan ongelmatilanteista, etenkin jos sille ei anneta kunnollista ja selkeää ohjausta, miten raportti tulee täyttää ja mitä raportissa pitää ilmaista. On myös huomioitava, että organisaation eri toiminnoissa toimivalla henkilöllä on erilaiset kyvyt raportoida asioita, jolloin raportoinnista ohjeistuksesta huolimatta voi jäädä tärkeitä osia pois.

Siksi on tärkeää, että raportointimenetelmä on yksinkertainen, jonka avulla voidaan siirtää tietoa selkeästi asentajalta suunnittelijalle tai vaikkapa toiselta asentajalta asentajalle. Transtechilla on käytössä järjestelmä vikatietojen ilmoittamisesta eteenpäin

ainakin varikolta (eli Helsingistä ja Tampereelta) After Salesiin. Nämä tiedot eivät aina saavuta suunnittelijoita – tiedot voivat olla puutteellisia tai epäselviä.

Voisi olla tarpeellista, että raportointi voisi tapahtua myös äänitteen kautta – kuitenkin voidaan olettaa, että nykyään jokaiselta tehtaalta ja varikolta löytyy vähintään yksi matkapuhelin, josta löytyy äänitysmahdollisuus. Tämä voisi mahdollistaa monipuolisempaa raportointia heti vian ilmetessä. Useamman asentajan kanssa keskustellessa huomaa, että henkilöillä on erilaiset kyvyt ilmaista itseään kirjallisesti ja suullisesti. Tätä ei saisi sivuuttaa raportoinnin suhteen.

Äänitteen kaltainen menetelmä tietysti toisi kysymykseen sen, miten ja kuka hoitaisi äänitteiden tallentamisen tietokantaan. Yksinkertaisin menetelmä voisi olla tallentaa äänite sellaisenaan ja lisätä avainsanat, jotka helpottavat vikojen hakemista. Toinen tapa olisi litterointi, eli äänite kirjoitetaan puhtaaksi tekstimuotoon. Tämä tietysti lisäisi työkuormaa huomattavan määrän.

Toisena vaihtoehtona olisi sähköinen järjestelmä, jossa tieto menisi havainnoitsijalta myös suunnittelijalle ja asentajalle. Tämän ei tarvitse tapahtua välittömästi, vaan säännöllisesti selkeässä muodossa ja luotettavana datana. Tällöin voitaisiin ehkäistä sellaiset tilanteet, joissa esimerkiksi kuljettaja havaitsee vian, täyttää raportin suppeasti, koska tietää voivansa täydentää sanallisesti varikon asentajalle loput viasta. Näin kaikki tiedot viasta siirtyisivät suoraan myös suunnittelijalle.

4.2 Raportointiohjeet

Olipa raportointimenetelmä mikä tahansa, tulee raportointiohjeet olla selkeitä. Niiden tulee olla sellaiset, joiden avulla ei voi syntyä väärinkäsityksiä, ja kuitenkin kaikki oleellinen tieto välittyy.

Raportin tulisi sisältää seuraavat asiat:

- Milloin vika havaittiin?

- Miten havainto tapahtui (virheilmoituksen muodossa, silmämääräisesti, fyysisesti)?
- Kuka havainnon teki?
- Minkälaiset olosuhteet olivat vian ilmetessä?
- Minkälaisessa tilanteessa vika havaittiin?
 - o Esimerkiksi törmäys oveen, liikkeelle lähtö, pysähtyminen, yms.
- Mihin vika vaikuttaa ja miten se vaikuttaa?
- Toimenpiteet, jotka tehtiin vian havaitsemisen jälkeen.
 - o Ovi pois käytöstä.
 - o Mahdollinen korjaustoimenpide.
- Saatiinko vika kuntoon?

Tässä on käytetty hyödyksi tässä työssä tulleita vikailmoituksia ja havaintoja puutteista. Vaikka uutta raportointipohjaa ei otettaisikaan käyttöön, on sen kohtia tärkeä pohtia siltä kannalta, voitaisiinko siitä ottaa osia esimerkiksi Leaniin. Tämän työn ohella on kuitenkin tullut ilmi käyttäjien epämukavia kokemuksia Leanin osalta. Toisaalta myös tässä työssäkin on tullut esille vahvasti, ettei Lean tällä hetkellä ole tarpeeksi kattava ja samalla kuitenkin yksinkertainen.

5 TULOSTEN TARKASTELU

Tässä kappaleessa käsitellään tutkimuksesta syntyneitä tuloksia. Pyritäänkin vastaamaan kysymyksiin, mistä oviviat johtuvat, miten raportointi tapahtuu, miten raportointia voidaan parantaa, ja miten MDBF-arvoa voitaisiin nostaa.

Jo tutkimuksen alussa voitiin todeta, että ovivikoja, kuten muitakin vikoja, syntyy monista eri syistä. Tutkimus itsessään myös todistaa tämän väitteen. Viat voivat johtua niin asennuksesta, materiaalista, väärästä käytöstavasta että ympäristöstä johtuvista syistä. Ei ole mitään yksiselitteistä syytä, vaikkakin vääränlaiset asennukset ja huonolaatuiset materiaalit ovat tämän tutkimuksen valossa yleisimmät syyt.

Yhtenä ongelmana voidaan myös tutkimuksen pohjalta havaita se, että usein viat korjataan paneutumatta tarkemmin juurisyihin. Osa vioista ei vaadi tietysti juurikaan tarkempaa analyysia, mutta esimerkiksi tilanteessa, jossa tietyssä ovesa havaitaan erinäisiä vikoja toistuvasti, mutta tarpeeksi harvasti, ei ehkä huomata lähteä tutkimaan, onko vikojen taustalla esimerkiksi viallinen asennus tai huonolaatuiset materiaalit. Lisäksi huomionarvoista on se, että taustaselvityksien tekeminen vaatii erilaisia resursseja. Kuitenkin syvempi analyysi varmistaisi sen, että jokainen vika otetaan kunnolla huomioon, jolloin mahdollinen kierre voidaan pysäyttää ajoissa, jolloin voidaan pitää kiinni laadusta.

Tämä tietysti vaatisi myös sen, että Transtechin olisi tärkeä saada luotua järjestelmä tai prosessi, jonka avulla voidaan kommunikoida nopeammin ja monipuolisemmin eri tahojen välillä. Nykyisiä sovelluksia voidaan käyttää hyödyksi, mutta on hyvä pohtia myös uusien ohjelmien käyttöä. Kun vioista olisi kattavampi tieto tarjolla laajasti suunnittelusta huoltoon ja asennukseen, voisi niihin puuttua nopeammin. Tässä tulee myös huomioida työntekijöiden työkuorma, jota helposti kasaantuu liikaa. Tämän valossa olisikin tärkeää, että järjestelmä tai prosessi ei ainakaan lisää liikaa kuormaa, vaan se suunniteltaisiin tarkasti. Esimerkiksi säännölliset katsaukset järjestelmäasennuksista eri vaiheessa projektia, etenkin sarjavalmistuksen alussa. Näin puutteisiin voidaan puuttua ajoissa, jolloin ratkaisuja voidaan lähteä suunnittelemaan heti. Tämä varmistaisi myös

sen, että vaunuja ei lähetetä vaunuja loppuasiakkaalla niin sanotusti vajaana, jolloin jälkityöt siirtyvät huollolle, ja täten vaaditaan työläämpiä ratkaisuja.

Voidaan pitää kuitenkin tärkeänä sitä, että eri tahot ovat tietoisia oman toiminta-alansa vioista. Tällainen sovellus voisi myös mahdollistaa sen, että esimerkiksi ovitoimittajien toimittamasta tavarasta saataisiin tieto koottua paremmin, ja laadun tarkkailu olisi parempaa. Tämä olisi eduksi tilanteissa, joissa tarvitaan todistusta siitä, että toimitetussa tavarassa on selvästi puutteita.

On siis selvästi havaittavissa myös, että asentajien, huollon, suunnittelun ja After Salesin välillä kommunikaatio ei toimi tarpeeksi hyvin. Esimerkiksi huollossa ei olla ajan tasalla siitä, miten esimerkiksi Ultimaten ovijärjestelmien ohjelmistopäivitysten suhteen ollaan menossa. Tehtaan ja suunnittelun puolella voi tulla tilanteita, joissa toinen osapuoli ei välttämättä ymmärrä, miksi vaikka jokin asennus suoritetaan tiettyjen ohjeiden avulla, kun itse asennustilanteessa toinen tapa voisi olla parempi. ECO-/ECR-prosessi on tällaisiin tilanteisiin tarkoitettu, mutta näitä ei yleensä lähdetä tekemään kiireen takia. Tästä syystä informaatio jääkin saamatta eri osapuolten välillä. Olisikin tärkeä, että tällaisia tilanteita ehkäistäisiin.

Työn yhtenä tärkeimpänä tavoitteena oli MDBF-arvon parantaminen. Sen parantaminen ei tapahdu nopeasti, vaan se vaatii aikaa ja edellä mainittuja keinoja. On huomioitava se, että arvo koostuu kuitenkin monesta virheestä, joita työssä on havaittu, ja joihin pitää puuttua syvällisesti. Suunnittelijat tarvitsevat ehdottomasti lisätietoa vikadatasta, jotta voivat vaikuttaa jo suunnitteluvaiheessa vikojen kitkemiseen. Tehtaalla tulee pystyä tekemään laadukkaat asennukset alusta loppuun. Varikoilla on oltava osaavat henkilöt, jotka ovat tietoisia esimerkiksi asennuksen yhteydessä nousseista ongelmista. Nostotestissä havaittu vaunun rungon liikkeet on myös hyvä huomioida kaiken tämän lisäksi, ja selvittää lisää rungossa tapahtuvia jännitysmuutoksia, jotka voivat vaikuttaa ovien toimintaan.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET

Tämän osion ensimmäisessä kohdassa käsitellään tutkimuksesta syntyneitä johtopäätöksiä. Näiden jälkeen siirrytään suosituksiin, joiden avulla tutkimusta voidaan syventää, mutta joiden avulla voidaan myös parantaa Transtechin tuotteiden laatua.

6.1 Johtopäätökset

Työssä käsiteltiin kolmea eri raitiovaunua, joista pisimpään liikennöinyt Artic antoi laajimmat materiaalit. Tästä syystä tutkimus pohjautuikin Articin vikadataan. Voidaan kuitenkin olettaa, että ongelmat ovat toistuvia myös Jokerissa, sillä ovijärjestelmät kummassakin on toimittanut Ultimate. Kolmas ja uusin, eli vähin liikennöinyt, raitiovaunu, Tampereella liikennöivä Tamsa, voi välttyä osalta ongelmista, sillä sen ovijärjestelmän toimittaja on Tamware. Kuitenkin Articin vikadataa lukiessa voidaan olettaa, että myös Tamsassa tullaan mahdollisesti törmäämään tiettyihin vikoihin, jotka ovat nousseet esille Articin vikadatasta.

Tutkitun vikadatan perusteella voidaan todeta, että Transtechin raitiovaunujen oviviat johtuvat pitkälti joko viallisista tuotteista tai vääränlaisesta asennuksesta. Lisäksi on havaittavissa vikoja, jotka syntyvät kulumisesta, inhimillisistä virheistä ja vääristä havainnoista. On ongelmakohtia, joita ei saada nopeasti korjattua, kuten oviohjausyksikön ohjelmistopäivityksiä, jotka vaativat niin Transtechin kuin ovijärjestelmätoimittajan panostuksen.

On myös huomioitava, että Jokerin noston aikana tehdyn testin mukaan, rungon ja ovien välillä tapahtuu liikettä, mikä on selvästi jäänyt vähemmälle huomiolle. Kun raitiovaunu on valmis, sille tehdään loppusäädöt tehtaalla ja vielä määränpäässä tarkastussäädöt. On havaittu, että usein nämä säädöt eivät kohtaa, vaan määränpäästä on tullut ilmoitus, ettei loppusäätöjä olisi tehty ollenkaan. Tämä viestii sitä, että esimerkiksi jonkinlaisia jännityspurkauksia tapahtuu myös kuljetuksen aikana. Näiden jännitysten ja vastaavien olemassaolo on hyvä huomioida myös liikennöinnissä, jolloin ovivikoja voi ilmetä niiden johdosta.

Tämän hetkinen vikaraportointi ei ole tehokkainta. Data on saatavilla niille, jotka osaavat Leania käyttää vikadatan löytämiseen. Tämä ei kuitenkaan ole yksinkertaista, joten voidaan todeta, ettei data ole saatavilla kootusti. Tämä tuo haasteita suunnitteluun, jolloin ei voida reagoida mahdollisimman nopeasti tilanteisiin, joissa vian aiheuttaa suunnitteluvirhe. Tehtaalta taas vikakohdat voivat jäädä huomioimatta, sillä tieto usein kiertää ”suusta suuhun”. Työn ohessa havaittiin myös, että huollossakaan ei olla täysin ajan tasalla eri vikojen vaiheista. Onkin tärkeä pohtia, miten paljon vikoja voi jäädä raportoitumatta kankean raportoinnin takia.

Ajoittain vikadata on myös puutteellista, jolloin juurisyiden löytäminen voi olla haastavaa. Datassa saattaa olla erittäin yksinkertainen merkintä, esimerkiksi ”Ovivika”. Lisäksi kaikkien vikojen osalta ei löydy tietoa, miten vika on korjattu. Tällaiset tuovat lisäongelmia, eikä etenkään toistuvien vikojen osalta helpota ongelmien ratkaisemista. Tietysti on tarpeellista huomioida myös, että takuujakson jälkeen (Articin kohdalla kolme vuotta) vaunut siirtyvät asiakkaan huollettavaksi. Vikadataa ei näistä vaunuista siis takuuajan jälkeen saada samalla tavalla kuin oman huollon kautta, vaan reklamaation kautta. Siksi on tärkeä panostaa, että takuujakson aikana suurimmat viat ja niiden syyt saadaan hoidettua.

On hyvä muistaa, että tehokkaampi vikaraportointi ja paremmat kommunikaatioyhteydet suunnittelun, huollon, tehtaan ja After Salesin välillä ovat käytettävissä muissakin raitiovaunun kohteissa, jolloin siitä hyödytään laajemmin.

Ovijärjestelmien MDBF-arvo ei tule paranemaan ennen kuin toistuvien vikojen syyt tullaan korjaamaan täysin.

6.2 Suositukset

Työn osalta ensimmäinen tärkein osa oli ehdottomasti nostotestin tekeminen. Sen osalta voidaan suositella toista nostotestiä, jossa oviaukkoon asennetaan lanka-antureita, jolloin saataisiin parempaa tulosta siitä, miten runko ja ovilehdet liikkuvat toisiinsa nähden. Kun tästä saataisiin kunnollista dataa, osattaisiin eliminoida tästä mahdollisesti aiheutuvia ovivikoja.

Tehtaalla tehtävien loppusäätöjen osalta olisi hyvä, jos säätöjen tehnyt henkilö tulisi tekemään säädöt myös raitiovaunun kuljetuksen jälkeen päätepisteessä. Tällöin säädön tekijä voi havaita kuljetuksen aikana tapahtuneet mahdolliset kriittiset muutokset. On ollut tilanteita, joissa tehtaalla on tehty säädöt oikein, mutta kuljetuksen jälkeen näyttäisi, ettei säätöjä ole tehty laisinkaan.

Olisi hyvä punnita myös ovijärjestelmien toimittajat ja vaatia sopimuksissa tiukemmin reagointia vikatilanteissa. Jos tietty vika toistuu useamman kerran ja se voidaan suoranaisesti yhdistää toimittajaan, mutta vika ei poistu, on hyvä tarkastella, onko taloudellisempaa valita jokin toinen toimittaja.

Aikataulutuksen suunnittelu on haasteellista, mutta erinomaisen lopputuloksen takia on tärkeä, että asennukset voidaan suorittaa huolellisesti alusta loppuun. Kiire voi aiheuttaa virheellisiä asennuksia tai esimerkiksi jonkin vaiheen jättämisen täysin välistä. Tällöin yhtiö tuottaa epäkelvollista tavaraa, joka vaikuttaa suoranaisesti maineeseen. Tietysti myös aikatauluista luistaminen aiheuttaa mainehaittaa. Siksi on hyvä tarkastella myös aikataulujen toteutumista ja niiden muokkaamista.

Kuten aiemmin työssä on mainittu, on erityisen tärkeää, että Transtechilla parannettaisiin kommunikointiväyliä eri tahojen välillä. Tällä hetkellä raportointi ja ECR/ECO-järjestelmät eivät ole valjastettu täyteen tehoonsa. Ilmoitukset ja raportit kulkevat monen tahon läpi, mutta samalla eri kohteista vastaavat henkilöt eivät ole tietoisia, minkälaisista vikadataa omalla osa-alueella varsinaisesti on, ja miten vikoja korjataan. Olisi erityisen tärkeää, että vikadata on laajaa ja se on koottu niin, että sitä voidaan tarkastella aina suunnittelusta huoltoon ja asennukseen esimerkiksi säännöllisen prosessin myötä. Sitä tulisi päivittää esimerkiksi korjausten osalta, ja sen tulisi sisältää mahdollisimman kattavasti oleelliset asiat. Raportoinnin kynnyks tulee myös madaltaa niin, että raportointi voidaan tehdä laajasti ja ketterästi.

On myös tärkeä pohtia, onko MDBF- tai MTBF-arvo tarpeeksi toimiva mittari, jonka kirjaaminen sopimukseen on kannattavaa. Onko arvo sellainen, että sitä voidaan vertailla keskenään projektien kesken, tai ottaako se tarpeeksi hyvin huomioon, miten ovien määrä vaikuttaa arvoon? Articin ja Jokerin ovien lukumäärä eroavat toisistaan, sillä Jokerissa on

tuplasti enemmän ovia kuin Articissa, ja onkin hyvä miettiä, miten luotettavampi on raitiovaunu, josta löytyy ovijärjestelmät vain toiselta kyljeltä, kun toisessa ovijärjestelmät ovat kummallakin kyljellä. Siksi voidaankin suositella, että MDBF-arvolle pohdittaisiin toisenlaista luotettavuusmittaria, jota pystyttäisiin soveltamaan paremmin raitiovaunuihin. Kuitenkin ovijärjestelmien kannalta matka kilometreissä tai edes aika ei ole ratkaiseva mittari, vaan juurikin avausyhtymien määrä, joka voi erota eri ovien välillä samassa vaunussa.

Täytyy myös muistaa, että oman toiminnan tarkasteleminen kuuluu laadun takaamiseen. On helppo siirtää vastuu pois omasta toiminnasta. Vikojen syyt on tärkeä löytää, mutta ne ensisijaisesti tulisi etsiä juurisyyn eikä syyllisen perusteella. Tätä voi yritys esimerkiksi tukea sillä, ettei virheiden myöntämisellä ole sanktiota, ja pitämällä huolen, että juurikin vian alkulähteen löytäminen on tärkeämpää kuin syyllisen. Nämä ovat kuitenkin seikkoja, joita ei tule unohtaa, kun kyse on alasta, jossa päätekijöinä ovat ihmiset, jolloin inhimillisyys on osa toimintaa.

7 YHTEENVETO

Diplomityön aiheena oli raitiovaunujen ovijärjestelmien vikojen kartoittaminen ja ratkaisuesitysten laatiminen. Tavoitteena oli löytää mahdollisia juurisyitä yleisempiin vikoihin ja tätä myötä löytää ratkaisuja, miten niitä voidaan ehkäistä tai ratkaista. Työssä käsiteltiin kolmea eri raitiovaunua, Articia, Jokeria ja Tamsaa, joista jälkimmäinen liikennöi Tampereella ja kaksi ensimmäistä Helsingissä. Pääpaino tutkimuksessa kuitenkin pysyi Articissa, sillä tämä raitiovaunu on liikennöinyt näistä pisimpään, ja sen osalta vikadiagnostiikkaa on kertynyt laajasti. Articin ja Jokerin ovijärjestelmänä toimii itävaltalainen Ultimate, kun taas Tamsassa tamperelainen Tamware.

Työhön kuului tutustumista raitiovaunuihin Transtechin tehtaalla, samalla tehden nostotesti yhdelle Jokerin vaunuista. Lisäksi tutkimusta varten haastateltiin eri henkilöitä eri osastoilta. Näiden ohella paneuduttiin jo olemassa olevaan tutkimukseen, jota ei suoranaisesti juuri työn aiheesta löytynyt.

Tärkeimmäksi työn osaksi nousi esille vikadata Artic-raitiovaunusta. Data oli aikaväliltä 1/2020-12/2020, ja vikailmoituksia oli koottu kaikkiaan 147 kappaletta, osia oltiin vaihdettu 62 kappaletta. Datan avulla pystyttiin havainnoimaan, mitkä ovat yleisimmät oviviat. Esille nousi etenkin ovikoneistossa tapahtuvat törmäykset eri osien kesken. Syynä olivat joko vääränlaiset asennukset tai itse tuote. Lisäksi ongelmaksi nousivat epämääräiset äänet ovijärjestelmässä tai ovijärjestelmä ei ole toiminut oikeanlaisesti ilman kunnollista syytä.

Materiaalivaihdossa yleisempänä vaihtokohteena olivat laipalliset liukulaakeriholkit ja lukitusrullat, joita kumpiakin vaihdettiin 12 kappaletta. Nämä osat ovat toisiinsa kytköksissä, joten on ymmärrettävää, että niitä vaihdetaan yhtä monta. Kyseisiä osia käytetään yleensä ovien kannakkeissa ja liikkuvissa osissa. On ymmärrettävää, että osat kuluvat, mutta huomiota kannattaa kiinnittää osiin, jotka pitää vaihtaa esimerkiksi huonon materiaalin tai valmistusvian takia. Tästä esimerkkinä löytyy Ultimaten ovijärjestelmän ovikoneiston akselista esiintyvät kulumajäljet, joiden ollaan voitu todeta johtuvan puutteellisesta akselin pinnoitteesta.

Ovijärjestelmien MDBF-arvojen parantaminen oli työn yksi tärkeimmistä tavoitteista. Kuitenkin on tärkeä huomioida, että kyseiseen arvoon vaikuttaa useampi tekijä. Jotta sitä saadaan parannettua, on lähdettävä korjaamaan toistuvimmat viat. On myös tärkeää panostaa asennuksen ja suunnittelun laatuun sekä vikadiagnostiikan kattavuuteen.

LÄHDELUETTELO

Brandner T., 2019a. Installation Manual Double Plug Sliding Door LF Tram MLRV03 [asennusohje]. Amstetten: Ultimate Europe Transportation Equipment GmbH. 76 s.

Brandner T., 2019b. Installation Manual Single Plug Sliding Door LF Tram MLRV03 [asennusohje]. Amstetten: Ultimate Europe Transportation Equipment GmbH. 80 s.

City University of Hong Kong, 2017. The 2nd Workshop on Railway Operation for Safety and Reliability [verkkodokumentti]. Kowloon: City University of Hong Kong. Saatavissa: [http://www.cityu.edu.hk/csie/tbrs/event/\[2017-11-17\]Event%20Speakers%20Ppt/Rex%20LAI.pdf](http://www.cityu.edu.hk/csie/tbrs/event/[2017-11-17]Event%20Speakers%20Ppt/Rex%20LAI.pdf) [viitattu 26.4.2021]

GOV.UK, 2018. Independent Report [verkkodokumentti]. Lontoo: GOV.UK. Saatavissa: <https://www.gov.uk/government/publications/safety-digest-082018-bury/passenger-trapped-in-tram-doors-and-dragged-at-bury-tram-stop-greater-manchester-30-may-2018> [viitattu 4.3.2021]

HKL, 2016. Matalalattiaraitiovaunu NRV 2020, liite 6: RAM-ehdot [sopimus]. Helsinki: Helsingin kaupungin liikennelaitos –liikelaite. 17 s.

Jakob G., 2020a. Diagnostic Description, ACCESS DOOR, LF Tram MLRV03, ForCity Smart Artic X54 and X75 [huolto- ja käyttöohje]. Amstetten: Ultimate Europe Transportation Equipment GmbH. 31 s.

Jakob G., 2020b. Functional Description, Access Door, LF Tram MLRV03, ForCity Smart Artic X54 and X75, Ultimate plug slider [huolto- ja käyttöohje]. Amstetten: Ultimate Europe Transportation Equipment GmbH. 35 s.

Lämsä P., 2021. Side doors for tram FCS Artic X54 [spesifikaatio]. Oulu: Skoda Transtech. 31 s.

Ottawa Citizen, 2019. Local News [verkkodokumentti]. Ottawa: Ottawa Citizen. Saatavissa: <https://ottawacitizen.com/news/local-news/door-problems-common-in-new-trains-but-shouldnt-cause-big-trouble-expert-says> [4.3.2021]

Palmeshofer B., 2019a. Technical Description, Passenger Door System, LF MLRV03, ForCity Smart Artic X54, Ultimate Plug Slider, UPS-S1 [huolto- ja käyttöohje]. Amstetten: Ultimate Europe Transportation Equipment GmbH. 25 s.

Palmeshofer B., 2019b. Technical Description, Passenger Door System, LF MLRV03, ForCity Smart Artic X54, Ultimate Plug Slider, UPS-D2 [huolto- ja käyttöohje]. Amstetten: Ultimate Europe Transportation Equipment GmbH. 23 s.

Škoda Transtech, 2020. Historia [verkkodokumentti]. Oulu: Škoda Transtech. Saatavissa: <https://www.transtech.fi/yritys/historia> [viitattu 18.2.2021]

Škoda Transtech, 2020. Yritys [verkkodokumentti]. Oulu: Škoda Transtech. Saatavissa: <https://www.transtech.fi/yritys> [viitattu 18.2.2021]

SFS, 2014. SFS-EN 50125-1:en [verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Saatavissa: <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/CENELEC/ID2/5/293351.html.stx> [viitattu 24.3.2021]

SFS, 2016. SFS-EN 50215:en [verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Saatavissa: <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/CENELEC/ID2/5/225560.html.stx> [viitattu 24.3.2021]

SFS, 2017a. SFS-EN 50121-3-2:2017:en [verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Saatavissa: <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/CENELEC/ID2/5/458694.html.stx> [viitattu 24.3.2021]

SFS, 2017b. SFS-EN 50155:2017:en [verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Saatavissa: <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSSahko/CENELEC/ID2/5/574107.html.stx> [viitattu 24.3.2021]

SFS-EN 12663-1 + A1:en, 2015. Railway applications. Railway applications. Structural requirements of railway vehicle bodies. Part 1: Locomotives and passenger rolling stock (and alternative method for freight wagons). 2. painos. Suomen standarditoimistoliitto SFS: 41 + 7 s.

SFS-EN 14752:en, 2006. Railway applications. Body side entrance systems. 1. painos. Suomen standarditoimistoliitto SFS: 56 + 20 s.

SFS-EN 14752:en, 2015. Railway applications. Body side entrance systems for rolling stock. 2. painos. Suomen standarditoimistoliitto SFS: 83 + 33 s.

Suomen Raitiotieseura, 2021a. Matalalattiaiset nivelvaunut 401–472 (8-aks) [verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen Raitiotieseura ry. Saatavissa: <https://www.raitio.org/suomen-raitiotiet-ja-raitiovaunut/helsingin-raitiotiet/raitiovaunut-hkl/kalusto/matalalattiaiset-nivelvaunut-401-460-8-aks/> [viitattu 15.3.2021]

Suomen Raitiotieseura, 2021b. Matalalattiaiset nivelvaunut 601–629 (8-aks) [verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen Raitiotieseura ry. Saatavissa: <https://www.raitio.org/suomen-raitiotiet-ja-raitiovaunut/helsingin-raitiotiet/raitiovaunut-hkl/kalusto/matalalattiaiset-nivelvaunut-601-629-8-aks/> [viitattu 15.3.2021]

Suomen Raitioseura, 2021c. Rataverkko, Helsingin raitioteiden rataverkko [verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen Raitioseura ry. Saatavissa: <https://www.raitio.org/suomen-raitiotiet-ja-raitiovaunut/helsingin-raitiotiet/rataverkko/> [viitattu 11.5.2021]

Suomen Raitiotiesseura, 2021d. Tampere: Rataverkko [verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen Raitiotiesseura ry. Saatavissa: <https://www.raitio.org/suomen-raitiotiet-ja-raitiovaunut/tampere/tampereen-raitiotien-rataverkko/> [viitattu 11.5.2021]

Tamware, 2019a. Door system general specification and mechanical design approval Smart Artic X34 tram entrance doors [spesifikaatio]. Tampere: Ab Tamware Oy. 11 s.

Tamware, 2019b. Installation instructions [asennusohje]. Tampere: Oy Tamware Ab. 25 s.

Tampereen Ratikka, 2019a. Ratikan vaiheet [verkkodokumentti]. Tampere: Tampereen Ratikka. Saatavissa: <https://www.tampereenratikka.fi/ratikan-vaiheet/> [viitattu 25.2.2021]

Tampereen Ratikka, 2019b. Vaunujen tekniset tiedot [verkkodokumentti]. Tampere: Tampereen Ratikka. Saatavissa: <https://www.tampereenratikka.fi/vaunujen-tekniset-tiedot/> [viitattu 25.2.2021]

Transtech, 2011. Tuotemuutosten hallinta ECR – ECO [käyttöohje]. Oulu: Transtech Oy. 24 s.

Transtech, 2014. ECR- ja ECO prosessi ja hyödyntäminen töiden ja hankintojen ajoituksessa [ohje]. Oulu: Skoda Transtech. 8 s.

TWI-Global, 2021. Who we are [verkkodokumentti]. Cambridge: TWI-Global. Saatavissa: <https://www.twi-global.com/who-we-are> [viitattu 4.3.2021]

TWI-Global, 2017. Mind the doors – New Project Investigates train door failure [verkkodokumentti]. Cambridge: TWI-Global. Saatavissa: <https://www.twi-global.com/media-and-events/press-releases/2017-10-mind-the-doors-new-project-investigates-train-door-failure> [viitattu 4.3.2021]